



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISIS THERMAL SISTEM UDARA KOMPRESI
BERTINGKAT (35-K-1A DAN 35-E) PADA PT
BADAK LNG**

**NIA ROSALINA
NRP 2112 100 034**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TM 141585

**THERMAL ANALISYS OF MULTISTAGE
CENTRIFUGAL AIR COMPRESSOR (35-K-1A
AND 35-E) AT PT BADAK LNG**

**NIA ROSALINA
NRP 2112 100 034**

**Supervisor :
Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016**

**ANALISA TERMAL SISTEM UDARA KOMPRESI
BERTINGKAT (35-K-1A DAN 35-E) PADA PT BADAK
LNG**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

Nia Rosalina

Nrp. 2112 100 034

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME (Pembimbing I)
NIP. 195312191981031001
2. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng. (Penguji I)
NIP. 195310191979031002
3. Ary Bachtiar K.P, ST, MT, PhD (Penguji II)
NIP. 197105241997021001
4. Bambang Arip D, ST, M.Eng, PhD (Penguji III)
NIP. 197804012002121001

**SURABAYA
Januari , 2016 ***

ANALISIS TERMAL SISTEM UDARA KOMPRESI BERTINGKAT (35-K-1A dan 35-E) PADA PT BADAK LNG

Nama : Nia Rosalina
NRP : 2112100034
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo,
M.E.

Di dalam dunia industri, banyak sekali komponen penunjang proses produksi atau operasi dari sebuah pabrik diantaranya adalah pompa, kompresor, heat exchanger, turbin, dan boiler. PT Badak LNG menggunakan kompresor bertingkat untuk menunjang operasi pabrik. Di dalam sistem kompresor bertingkat terdapat sebuah komponen yang berfungsi untuk membantu kerja dari kompresor yakni komponen intercooler. Komponen ini berfungsi untuk menurunkan temperatur udara bertekanan keluaran satu tingkat kompresor yang akan masuk kedalam kompresor tingkat berikutnya. Operasi sistem kompresi bertingkat sering mengalami penurunan performansi. Penurunan performa ini sangat sering terjadi, terutama pada jenis kompresor tersebut. Penurunan performa diakibatkan oleh dua hal, yakni adanya penurunan tekanan pada intercooler dan terjadinya kebocoran di beberapa sambungan pipa. Oleh sebab itu diperlukan sebuah analisis termal untuk mengetahui pengaruh adanya penurunan tekanan yang terjadi di intercooler terhadap penurunan performa kompresor.

Metode analisis didasarkan pada analisis termodinamika dan perpindahan panas. Analisis termodinamika digunakan untuk meninjau kesetimbangan massa dan konservasi energi pada intercooler, sedangkan analisis perpindahan panas digunakan untuk meninjau unjuk kerja atau performa dari intercooler. Data yang didapat untuk analisis merupakan data hasil kerja praktek lapangan di PT Badak LNG

Berdasarkan dengan hasil penelitian dan perhitungan didapatkan bahwa nilai efisiensi per stage pada kompresor mengalami penurunan dibandingkan saat comissioning. Kemudian nilai effectiveness intercooler 2 terletak dibawah nilai effectiveness intercooler 1. Selain itu nilai pressure drop intercooler 2 lebih tinggi dibandingkan dengan intercooler 1 sehingga diindikasikan bahwa performa intercooler mengalami penurunan. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa secara sistem kompresor masih berjalan dengan baik, namun sudah tidak sesuai dengan spesifikasi sehingga diindikasikan bahwa kompresor mengalami low performance.

Kata kunci: Intercooler, Kompresor, Efisiensi

THERMAL ANALYSIS OF MULTISTAGE AIR COMPRESSION SYSTEM (35-K-1A AND 35-E) AT PT BADAK LNG

Name : Nia Rosalina
NRP : 2112100034
Department : Mechanical Engineering
Supervisor : Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, M.E.

In the industrial, there are many equipment used for supporting the production process or the operation of a plant, for example pump, compressor, heat exchanger, turbine and boiler. PT Badak LNG use multistage compressor for supporting the operation process of the plant. In the multistage air compression system, there is equipment used for supporting the work of a compressor, that is intercooler. Intercooler is used for reducing the temperature of compressed air from the discharge of a stage before the compressed air enter the other stages. The multistage air compression system often has low performance especially for the compressor. The reduction of the performance is caused by two factors, there are reduction of the pressure in the intercooler and the presence of leakage in the pipe connection. Because of that, it requires a thermal analysis to know the effect of pressure drop in the intercooler to the performance of the compressor.

The analysis method is based on thermodynamic analysis and heat transfer. The thermodynamic analysis is used for analyzing mass balance and energy balance in the intercooler, while the heat transfer analysis is used for analyzing the performance of the compressor. Data used for analyzing is the result of internship at PT Badak LNG.

Based on the research and the calculation of the efficiency in the stage of compressor has decreased compared to commissioning. Then the effectiveness intercooler 2 value less than effectiveness intercooler 1. In addition the value of pressure

drop intercoolers 2 higher than the intercooler 1, that is to indicated the low performance of intercooler . Based on the the research showed that the system of compressor is still running well, but the indicated of compressor is low performance.

Keyword : Intercooler, Kompresor, Efficiency

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Analisis Termal Sistem Udara Kompresi Bertingkat (35-K-1A dan 35-E) pada PT Badak LNG. Dalam penyusunan laporan ini saya telah mendapat bantuan dari berbagai pihak baik secara moril dan materi, sehingga dalam pembuatan laporan ini, saya dengan hormat mengucapkan terima kasih kepada

1. Ayah, Ibu, Mas Agung, Mas Antok, Mbak Gendis yang selalu memberikan doa yang tak ada hentinya, semangat, dan motivasi serta kasih sayangnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Eyang, Mbak Tuk, Om Didik, serta segenap keluarga besar dan saudara-saudaraku yang telah memberikan semangat dan doanya.
3. Bapak Dr. Ir. Budi Utomo Kuku Widodo, M.E. selaku dosen pembimbing dan orang tua yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran di tengah segala kesibukan, dan selalu membantu hingga penulis selesai mengerjakan Tugas Akhir dengan tepat waktu.
4. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc, Eng, PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin ITS, seluruh dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS yang telah banyak membantu baik akademis maupun non akademis.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng; Ary Bachtiar K.P, ST., MT, PhD; Dr. Bambang Arip Dwiyanoro ST., M.Eng yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
6. Bapak Ir. Bobby Oedy Pramudyo, MSc, PhD sebagai dosen wali yang telah memberikan pengarahan selama masa perkuliahan penulis.

7. Bapak Zulfahri, Bapak Syaiful, Mas Bross dan segenap keluarga besar PT Badak yang telah memberikan bantuan, ilmu, dan motivasi kepada saya.
8. Segenap keluarga besar Taker's pakitem (Dian, Hayu, Bobby, Nazilah, Sekar, Ari, Maho, Raymond, Rony, dan Mbeng) yang telah membantu, memberikan semangat, memberi keceriaan, dan rasa kekeluargaan di dalam menyelesaikan TA
9. Yunita, Istina, Puput dan Clarissa yang telah memberikan semangat dan doa serta persahabatan selama menjalani perkuliahan di Teknik Mesin
10. Divisi Umum (Heri, Tuwek, Tegar, Azis) yang telah menemani di dalam kepengurusan di Bengkel
11. Segenap keluarga besar Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin yang telah memberikan ilmu, kekeluargaan, ilmu, kenangan dan yang terbaik kepadaku
12. Seluruh angkatan M55 yang telah memberikan dukungan moral, dan kehangatan keluarga di Teknik Mesin
13. Para penghuni laboratorium perpan yang telah membantu dan mengisi hari-hariku, dan telah memberikan kenangan
14. Bayu sebagai orang spesial yang telah banyak memberikan motivasi, ilmu dan sekaligus membantu saya di setiap saat
15. Seluruh pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Dalam segala keterbatasan, kemampuan, serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan bermanfaat bagi semua pihak.

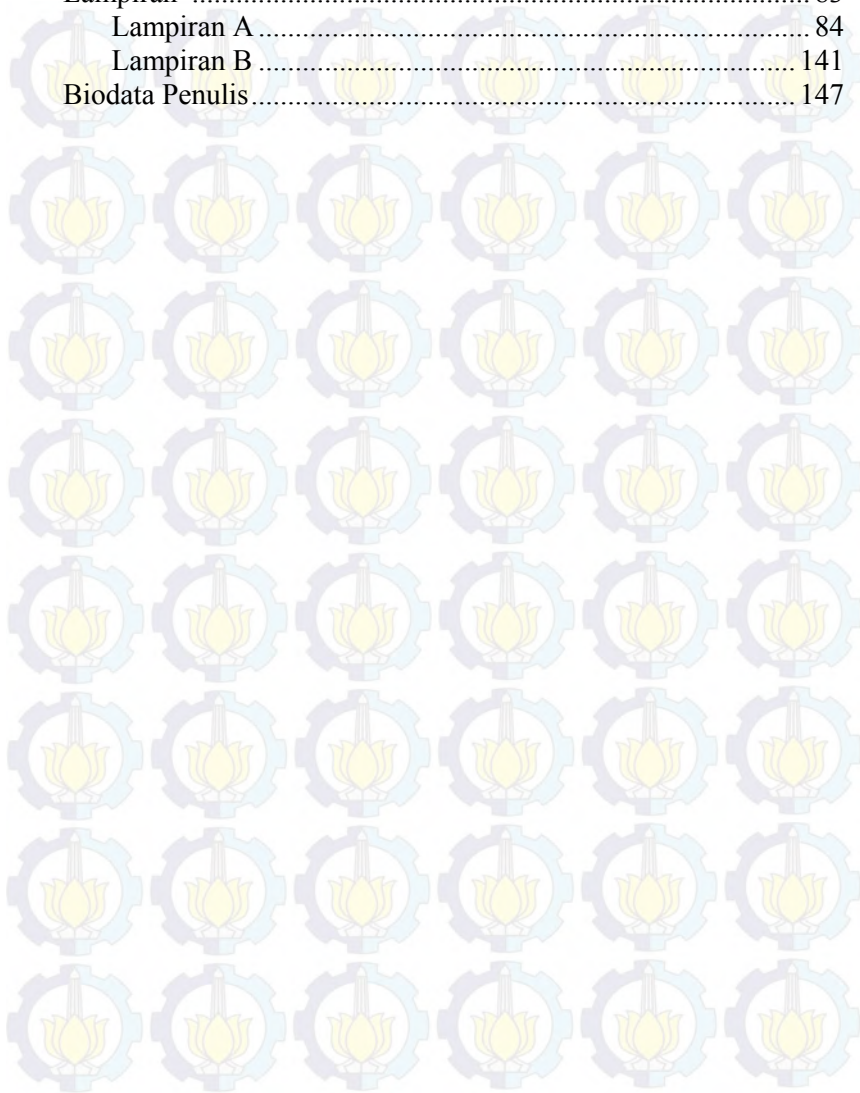
Surabaya, Januari 2016
Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	
DAFTAR SIMBOL	
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Gambaran Umum Plant 35 di PT Badak LNG	7
2.2 Kompresor 35-K-1A	9
2.3 <i>Intercooler</i> 35-E di PT Badak LNG	11
2.4 Dasar Penelitian dan Perhitungan	12
2.4.1 Analisis Termodinamika Secara Umum	12
2.4.1.1 Analisis Termodinamika pada Kompresor	13
2.4.1.2 Analisis Termodinamika pada <i>Intercooler</i>	17
2.4.2 Analisis Perpindahan Panas	19
2.4.2.1 Analisis <i>Heat Exchanger</i> dengan Metode <i>Number of Transfer Unit</i> (NTU)	19
2.4.2.2 <i>Pressure Drop</i> pada <i>Finned Tube Exchanger</i>	22
2.5 Penelitian Terdahulu	23
2.5.1 Aloysius Eddy Liemena ^[1]	23

2.5.2 Lopata Stanislaw and Ocłoń, Paweł ^[4]	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Secara umum	27
3.2 Metodologi	27
3.3 Pengumpulan Data	28
3.3.1 Objek Penelitian	28
3.3.2 Spesifikasi <i>Intercooler</i> 35-E di PT Badak LNG	29
3.3.3 Data Operasi	30
3.3.3.1 Data <i>Performance Test</i>	30
3.3.3.2 Data Commissioning	35
3.4 Flowchart Perhitungan	37
BAB IV ANALISIS dan PEMBAHASAN	41
4.1 Data Operasi	41
4.2 Analisis Berdasarkan Termodinamika	42
4.2.1 Analisis pada Kompresor	42
4.2.2 Analisis pada <i>Intercooler</i>	42
4.3 Analisis Perpindahan Panas pada <i>Intercooler</i>	45
4.4 Analisis Daya Motor	57
4.5 Pembahasan	57
4.5.1 Grafik Efisiensi per <i>Stage</i> Kompresor Terhadap Bukaannya	57
4.5.2 Grafik <i>Effectiveness Intercooler</i> Terhadap Bukaannya	63
4.5.3 Grafik <i>Pressure Drop (Δp) Intercooler</i> Terhadap Bukaannya	67
4.5.4 Grafik $P_{\text{motor}} / \Delta p$, $P_{\text{motor}} / \Delta T$ terhadap Bukaannya	70
4.5.5 Grafik Efisiensi terhadap Penurunan Tekanan pada <i>Intercooler</i>	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80

Daftar Pustaka	81
Lampiran	83
Lampiran A	84
Lampiran B	141
Biodata Penulis	147





DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kompresor 35-K-1A	2
Gambar 1.2	<i>Intercooler</i>	2
Gambar 1.3	Skema Sistem Kompresor	3
Gambar 2.1	<i>Plant 35</i>	8
Gambar 2.2	Skema Sistem	9
Gambar 2.3	Diagram P-V untuk kompresor yang menggunakan <i>intercooler</i> dan dalam keadaan ideal dan ketika ada pengotoran (<i>fouling</i>)	9
Gambar 2.4	Bentuk dari <i>Intercooler</i>	12
Gambar 2.5	Skema sistem	13
Gambar 2.6	Perbandingan antara Kompresi Nyata dan Isentropik ^[5]	15
Gambar 2.7	Grafik <i>Typical Compressor Performance</i>	16
Gambar 2.8	Kesetimbangan <i>Massa</i> pada <i>Intercooler</i>	17
Gambar 2.9	Kesetimbangan Energi pada <i>Intercooler</i>	18
Gambar 2.10	Grafik NTU vs <i>Effectiveness</i> ^[3]	21
Gambar 2.11	Pemodelan <i>tube</i> dengan menggunakan ANSYS CFX	25
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Analisis	27
Gambar 3.2	Komponen <i>Intercooler</i> 35-E-1	28
Gambar 3.3	<i>Intercooler</i> Tampak Atas	28
Gambar 3.4	<i>Flowchart</i> Perhitungan	37
Gambar 4.1	Skema Kompresor 3 <i>stage</i> dengan 2 <i>intercooler</i>	42
Gambar 4.2	Skema Kompresor <i>stage</i> 1	42
Gambar 4.3	Skema <i>Intercooler</i> 1 pada sistem	44
Gambar 4.4	Skema <i>Intercooler</i> 1	44
Gambar 4.5	Area <i>Primary</i> dan <i>Fin</i> pada Komponen <i>Intercooler</i>	47
Gambar 4.6	<i>Cross Sectional Area</i> dari <i>intercooler</i>	48
Gambar 4.7	Susunan <i>Tube Staggered</i>	49
Gambar 4.8	a) Grafik Bukaian terhadap Efisiensi Kompresor <i>Stage</i> 1, (b) Grafik Bukaian terhadap Efisiensi Kompresor <i>Stage</i> 2, dan	

	(c) Grafik Bukaán terhadap Efisiensi Kompresor <i>Stage 3</i>	60
Gambar 4.9	Grafik Bukaán Terhadap <i>Effectiveness</i> <i>Intercooler</i>	65
Gambar 4.10	Grafik Bukaán Terhadap <i>Pressure Drop</i> <i>Intercooler</i> (ΔP)	69
Gambar 4.11	(a) Grafik $P_{\text{motor}} / \Delta p$ terhadap Bukaán , (b) Grafik $P_{\text{motor}} / \Delta T$ terhadap Bukaán	70
Gambar 4.12	(a) Grafik Penurunan Tekanan <i>Intercooler</i> terhadap Efisiensi Kompresor <i>Stage 1</i> , (b) Grafik Penurunan Tekanan <i>Intercooler</i> terhadap Efisiensi Kompresor <i>Stage 2</i> , dan (c) Grafik Penurunan Tekanan <i>Intercooler</i> terhadap Efisiensi Kompresor <i>Stage 3</i>	75

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Intercooler	29
Tabel 3.2	Data <i>Performance Test</i> pada 30 Desember 2014	32
Tabel 3.3	Data <i>Performance Test</i> pada Kompresor 19 Januari 2015	33
Tabel 3.4	Data <i>Performance Test</i> pada Kompresor 19 April 2015	34
Tabel 3.5	Data Temperatur saat <i>Commisioning</i>	35
Tabel 3.6	Data <i>Pressure</i> saat <i>Commisioning</i>	36
Tabel 4.1	Data Dimensi <i>Fin</i> pada <i>Intercooler</i>	41
Tabel 4.2	Data <i>performance test</i> pada bukaan 100 di bulan Desember 2014	43
Tabel 4.3	Data Efisiensi per <i>Stage</i> Kompresor Terhadap Bukaan pada Data <i>Comissioning</i>	58
Tabel 4.4	Data Efisiensi per <i>Stage</i> Kompresor Terhadap Bukaan pada Data Bulan Desember 2014.....	58
Tabel 4.5	Data Efisiensi per <i>Stage</i> Kompresor Terhadap Bukaan pada Data Bulan Januari 2015	59
Tabel 4.6	Data Efisiensi per <i>Stage</i> Kompresor Terhadap Bukaan pada Data Bulan April 2015	59
Tabel 4.7	Data <i>Effectiveness Intercooler</i> Terhadap Bukaan pada Data <i>Comissioning</i>	63
Tabel 4.8	Data <i>Effectiveness Intercooler</i> Terhadap Bukaan pada Data Bulan Desember	64
Tabel 4.9	Data <i>Effectiveness Intercooler</i> Terhadap Bukaan pada Data Bulan Januari 2015	64
Tabel 4.10	Data <i>Effectiveness Intercooler</i> Terhadap Bukaan pada Data Bulan April 2015	65
Tabel 4.11	Data <i>Pressure Drop Intercooler</i> Terhadap Bukaan pada Data <i>Comissioning</i>	67
Tabel 4.12	Data <i>Pressure Drop Intercooler</i> Terhadap Bukaan pada Data Bulan Desember 2014.....	67
Tabel 4.13	Data <i>Pressure Drop Intercooler</i> Terhadap Bukaan pada Data Bulan Januari 2015	68

Tabel 4.14 Data <i>Pressure Drop Intercooler</i> Terhadap Bukaan pada Data Bulan April 2015	68
Tabel 4.15 Data $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ Terhadap Bukaan pada Data <i>Comissioning</i>	70
Tabel 4.16 Data $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ Terhadap Bukaan pada Data Bulan Desember 2014	71
Tabel 4.17 Data $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ Terhadap Bukaan pada Data Bulan Januari 2015	71
Tabel 4.18 Data $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ Terhadap Bukaan pada Data Bulan April 2015	72

DAFTAR SIMBOL

\dot{Q}	: laju alir panas (Watt)
\dot{W}	: laju kerja (Watt)
\dot{m}	: laju alir massa zat (kg/s)
v	: kecepatan fluida (m/s)
h	: <i>enthalpy</i> (kJ/kg)
z	: ketinggian (m)
$\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}}$: kerja per satuan massa ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)
h_2	: <i>enthalpy</i> keluar kompresor secara actual ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)
h_1	: <i>enthalpy</i> masuk kompresor($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)
h_{2s}	: <i>enthalpy</i> keluar kompresor isentropik($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)
U	: nilai <i>overall heat transfer</i> (W/m ² .K)
$R''_{f,i}$: nilai <i>fouling factor</i> (m ² .K/W)
h_i	: nilai <i>coefficient convection</i> (W/m ² .K)
A	: luas permukaan (m ²)
A_f	: luas permukaan fin (m ²)
A_c	: luas <i>crosssection area</i> (m ²)
d_o	: diameter <i>outer</i> (m)
L_1	: tinggi komponen <i>intercooler</i> (m)
N_f	: banyaknya jumlah fin per tinggi dari komponen <i>intercooler</i> (unit/m)
N_t	: jumlah <i>tube</i> (unit)
L_2	: panjang komponen <i>intercooler</i> (m)
L_3	: lebar komponen <i>intercooler</i> (m)
δ	: ketebalan <i>fin</i> (m)
h	: koefisien konveksi (W/ m ² .K)
k_f	: koefisien konduksi alumunium (W/ m.K)
L_2	: panjang <i>fin</i> (m)
L_1	: panjang <i>tube</i> (m)
L_3	: lebar <i>fin</i> (m)
V	: kecepatan <i>tube</i> (m/s)



k	: koefisien losses pada valve, dll
cp	: panas spesifik (kJ/kg.K)
Q	: debit (m^3/s)
R	: konstanta gas (kJ/kg.K)
ρ	: massa jenis (kg/m^3)
G	: massa flux ($kg/m^2.s$)
ϑ	: viskositas kinematis (m^2/s)
f	: <i>friction factor</i>
R_w	: <i>Resintance wall</i> (K/W)
ϵ	: <i>Effectiveness</i>
NTU	: <i>Number Transfer Of Unit</i>
m	: <i>fin parameter</i> (1/m)
Δp	: <i>Pressure Drop</i> (kgf/cm ²)
P_{motor}	: Daya Motor (kWatt)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dalam dunia industri, banyak sekali komponen penunjang proses produksi atau operasi dari sebuah pabrik. Komponen tersebut adalah pompa, kompresor, *heat exchanger*, turbin, dan boiler. Penggunaan komponen tersebut disesuaikan dengan kebutuhan di industri yang bersangkutan. Salah satu komponen yang umum digunakan dalam dunia industri di Indonesia adalah kompresor. Kompresor berperan penting dalam menunjang proses produksi, sehingga kompresor diharapkan dalam kondisi yang prima.

PT Badak LNG menggunakan kompresor untuk menunjang operasi di pabrik. Kompresor di PT Badak LNG, termasuk dalam kompresor udara (*air compressor*). Kompresor ini berfungsi untuk menghasilkan udara bertekanan yang dibutuhkan pada *utility air*, *instrument air*, dan penghasil umpan N₂. Kompresor terdiri dari 4 buah yakni kompresor 35-K-1A, 35-K-1B, 35-K-1C dan 35-K-1D, yang memiliki spesifikasi yang sama. Kompresor ini termasuk dalam jenis kompresor sentrifugal dan terdiri dari 3 *stage*. Kompresor dilengkapi dengan 2 buah *intercooler* yang berada antara *stage* 1 dan 2 serta berada diantara *stage* 2 dan 3. Selain itu, kompresor ini juga dilengkapi dengan 1 buah *aftercooler* yang berada setelah *stage* 3.

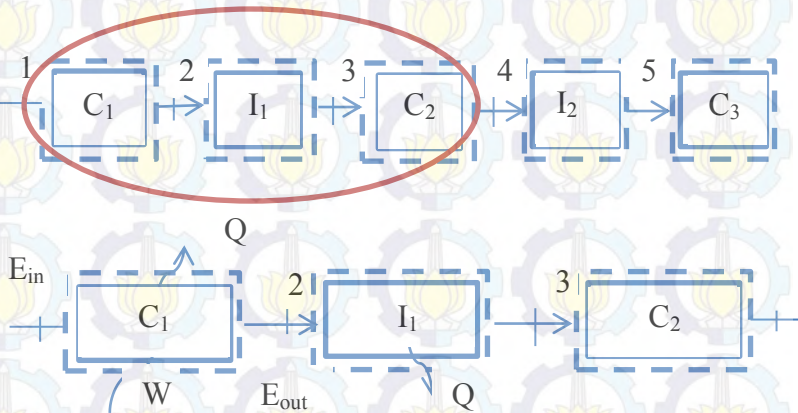


Gambar 1.1 Kompresor 35-K-1A



Gambar 1.2 *Intercooler*

Penelitian ini akan membahas tentang kompresor 35-K-1A dan *intercooler* 35-E yang digunakan di PT Badak LNG. *Intercooler* 35-E termasuk dalam jenis *finned-tube compact heat exchanger*. Komponen ini berfungsi untuk menurunkan temperatur udara bertekanan yang keluar dari *discharge* setiap *stage* pada kompresor. *Intercooler* dibagi menjadi 2 bagian yakni bagian *fin* dan bagian *tube*. Fluida yang mengalir pada sisi *fin* adalah udara bertekanan, sedangkan pada bagian *tube* dialiri oleh air laut. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada *intercooler* 35-E adalah adanya *fouling* (pengotoran) pada *inlet tube* dan *fin* di *intercooler*. Pengotoran ini menyebabkan *pressure drop* yang dialami oleh *intercooler* menjadi meningkat. Tak hanya itu *fouling* juga menyebabkan perpindahan panas yang terjadi pada komponen ini menjadi berkurang. Hal ini dapat dibuktikan dari hipotesa berikut :



Gambar 1.3 Skema Sistem Kompresor

Dari skema diatas diketahui bahwa kalor yang dilepaskan oleh fluida panas (udara bertekanan) di dalam kompresor menjadi berkurang akibat adanya *fouling* di *intercooler*. *Fouling* ini menyebabkan fluida dingin (air laut) tidak dapat menyerap kalor dari fluida panas (udara bertekanan) sesuai dengan spesifikasi desain. Dengan meninjau persamaan :

$$Q' = U A \Delta T'$$

$$Q_{act} = U A \Delta T$$

dengan :

- Q' = kalor yang dilepaskan oleh udara bertekanan saat ada *fouling*
- Q_{act} = kalor yang dilepaskan oleh udara bertekanan saat keadaan bersih
- U = nilai *overall heat transfer coefficient*
- A = luas penampang
- ΔT = perbedaan temperatur saat keadaan bersih
- $\Delta T'$ = perbedaan temperatur saat adanya *fouling*

Diketahui bahwa jika ada *fouling* maka nilai *overall heat transfer coefficient* (U) turun akibat nilai *thermal resistance* yang naik. Selain itu luas penampang pada *fin* dan *tube* juga berkurang. Hal ini menyebabkan nilai Q' menjadi turun.

Selain itu *fouling* juga menyebabkan nilai *pressure drop* meningkat, sehingga nilai P_2 menjadi berkurang sesuai dengan perumusan berikut :

$$\Delta p = P_1 - P_2$$

dengan :

- P_2 : tekanan udara bertekanan saat keluar dari *intercooler*
- P_1 : tekanan udara bertekanan saat masuk *intercooler*

Akibat adanya *fouling* nilai *pressure drop* menjadi naik sebagai akibat dari nilai *friction factor* yang meningkat. Hal ini dapat menyebabkan nilai P_2 menjadi turun sehingga berpengaruh terhadap performa kompresor *stage* selanjutnya. Oleh karena itu perlu adanya sebuah analisis *thermal* pada sistem udara kompresi bertingkat pada kompresor 35-K-1A dan *intercooler* 35-E untuk

mengetahui pengaruh adanya penurunan tekanan di *intercooler* tersebut terhadap penurunan performa kompresor.

1.2 Rumusan Masalah

Penurunan performa pada kompresor 35-K-1A menyebabkan *supply* udara bertekanan yang dibutuhkan untuk operasi pabrik menjadi berkurang. Penurunan performa ini menyebabkan tekanan yang keluar dari *stage* 3 kompresor tidak sesuai dengan spesifikasi desain yaitu sebesar $9,1 \text{ kg/cm}^2$. Penurunan tekanan ini sangat sering terjadi, terutama pada jenis kompresor tersebut. Penurunan performa diakibatkan oleh dua hal, yakni adanya *fouling* (pengotoran) pada *intercooler* dan terjadinya kebocoran di beberapa sambungan pipa. Oleh sebab itu diperlukan sebuah analisis *thermal* pada sistem udara kompresi bertingkat pada kompresor 35-K-1A dan *intercooler* 35-E untuk mengetahui pengaruh adanya penurunan tekanan di *intercooler* terhadap penurunan performa kompresor. Analisis *thermal* akan dilakukan dalam bentuk perhitungan sesuai dengan perumusan termodinamika dan perpindahan panas.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah tersebut, maka tujuan penelitian adalah :

1. Untuk mengetahui dampak adanya penurunan tekanan yang terjadi pada *intercooler* terhadap performa kompresor
2. Untuk mengetahui performa kompresor dan *intercooler* dengan menggunakan analisis *thermal*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui aplikasi dari ilmu termodinamika dan perpindahan panas serta menerapkannya pada *heat exchanger* dan kompresor

2. Untuk mendapatkan performa dari *intercooler* dan kompresor yang lebih baik

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi yang digunakan pada aplikasi ini adalah :

1. Pengambilan data dilakukan pada operasi *plant* 35 di PT Badak LNG
2. Kondisi operasi *steady state*
3. Proses perpindahan panas secara radiasi diabaikan
4. Aliran udara dalam pipa diasumsikan *fully developed*
5. Pengaruh energi kinetik dan potensial diabaikan

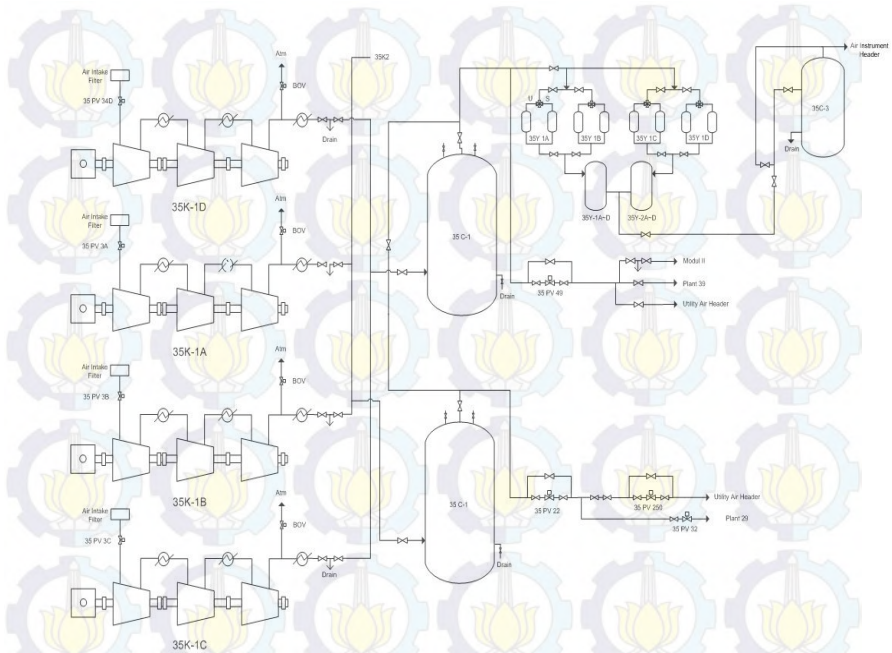
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum *Plant 35* di PT Badak LNG

Plant 35 di PT Badak LNG adalah salah satu *plant* yang berfungsi sebagai pembangkit udara bertekanan saat pabrik beroperasi. Udara bertekanan diperlukan untuk keperluan instrumentasi, *utility air*, dan sebagai umpan N_2 . *Plant 35* terdiri dari 6 komponen utama yakni kompresor, *cooler*, *air intake filter*, *air drier*, *plant receiver*, dan *instrument air receiver*. Kompresor berfungsi untuk menyediakan udara bertekanan. *Cooler* berfungsi untuk mendinginkan udara bertekanan yang keluar dari *discharge* kompresor. *Air intake filter* berfungsi sebagai saluran udara masuk dari atmosfer menuju kompresor. *Air drier* berfungsi untuk menyerap kandungan air yang masih terkandung pada udara bertekanan. *Plant receiver* berfungsi untuk menampung udara bertekanan yang keluar dari kompresor. *Instrumen air receiver* berfungsi untuk menampung *air instrument* sebelum didistribusikan ke *header air instrument*. Hubungan antar komponen diatas dapat dilihat pada gambar berikut :

AIR COMPRESSOR AND AIR INSTRUMENT

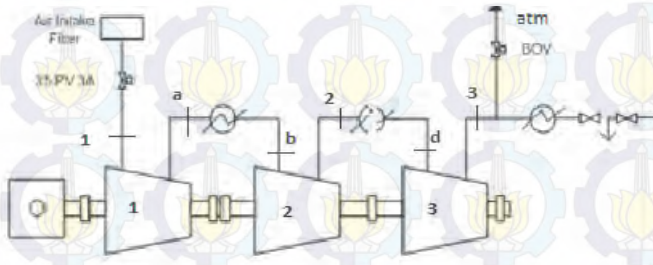


Gambar 2.1 Plant 35

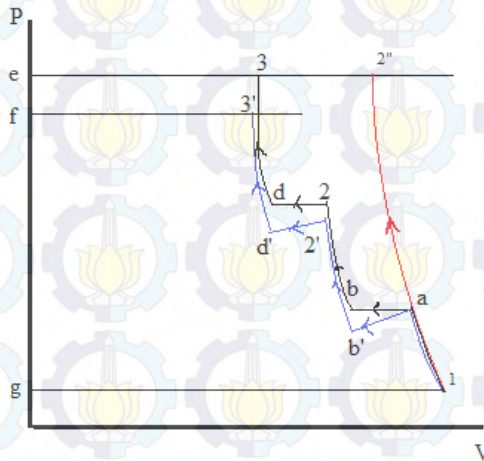
Pada gambar 2.1 dapat terlihat bahwa udara bertekanan dihasilkan oleh kompresor sentrifugal tiga *stage* yakni kompresor 35-K-1A, 35-K-1B, 35-K-1C, dan 35-K-1D. Udara bertekanan bersumber dari udara atmosfer yang dikompresikan hingga mencapai tekanan $9.1 \text{ kg/cm}^2 \text{ gauge}$ dan didinginkan hingga 35°C . Ketika udara bertekanan masuk ke kompresor, terjadi tiga proses pendinginan yang melibatkan 2 buah *intercooler* dan 1 buah *aftercooler*. Pendinginan udara bertekanan bertujuan untuk menurunkan temperatur dari udara tekan yang keluar dari *discharge* kompresor *stage* sebelumnya. Setelah udara bertekanan keluar dari kompresor dan *aftercooler*, akan masuk pada *air drier* untuk dikeringkan sebelum ditampung pada *plant air receiver*.

2.2 Kompresor 35-K-1A

Kompresor 35-K-1A adalah salah satu kompresor yang berfungsi untuk menghasilkan udara bertekanan yang dibutuhkan saat operasi pada pabrik. Kompresor ini diasumsikan bekerja dalam keadaan isentropik. Berikut adalah skema dari sistem di kompresor :



Gambar 2.2 Skema Sistem



Gambar 2.3 Diagram P-V untuk kompresor yang menggunakan *intercooler* dan dalam keadaan ideal dan ketika ada pengotoran (*fouling*)

Pada diagram P-V diatas, terdapat 3 buah grafik yakni grafik berwarna merah, hitam, dan hijau. Tiga grafik tersebut menunjukkan keadaan atau kondisi dari sistem kompresor. Grafik berwarna merah menunjukkan keadaan kompresor tanpa menggunakan *intercooler*. Grafik berwarna hitam menunjukkan keadaan kompresor dengan menggunakan *intercooler* saat keadaan ideal (bersih), sedangkan grafik berwarna hijau menunjukkan keadaan kompresor dengan menggunakan *intercooler* saat mengalami *fouling* (pengotoran).

Grafik berwarna merah adalah grafik sebuah kompresor *single stage* yang bekerja tanpa menggunakan *intercooler*. Daerah e-g-1-2” merupakan daerah yang menunjukkan kerja yang dilakukan oleh kompresor. Dapat dilihat bahwa kerja yang dibutuhkan oleh kompresor tanpa menggunakan *intercooler* lebih besar jika dibandingkan dengan kompresor yang menggunakan *intercooler*. Kerja yang dibutuhkan ini dapat dilihat dari besarnya luasan daerah yang ditunjukkan oleh daerah e-g-1-2”.

Grafik berwarna hitam menunjukkan kerja kompresor dan *intercooler* saat keadaan bersih (ideal). Saat kompresor dan *intercooler* dalam keadaan bersih (ideal), udara bertekanan dikompresikan pada *stage* 1 dan digambarkan sebagai proses 1-a. Kemudian udara bertekanan masuk ke dalam *intercooler* 1 yang digambarkan sebagai proses a-b. Setelah temperatur udara bertekanan mencapai 43°C, kemudian dikompresi kembali pada *stage* 2 kompresor dan digambarkan sebagai proses b-2. Kemudian udara bertekanan masuk kembali ke dalam *intercooler* 2 yang digambarkan sebagai proses 2-c, sebelum dikompresi kembali pada *stage* 3 kompresor dan ditunjukkan dengan proses c-3. Di dalam keadaan bersih *intercooler* tidak memiliki nilai *pressure drop* sehingga grafik yang terjadi tetap linier seperti diatas.

Namun di dalam kenyataannya *intercooler* mengalami *fouling* (pengotoran), sehingga terjadi *pressure drop* dan menyebabkan tekanan *stage* berikutnya pada kompresor menjadi berkurang. Akibat adanya *fouling*, tekanan pada *intercooler*

mengalami penurunan sehingga tingkat keadaan tekanan pada grafik P-V menjadi menurun. Hal ini dapat ditunjukkan pada grafik berwarna biru pada diagram P-V diatas. Penurunan tekanan ini menyebabkan tekanan udara yang diharapkan masuk pada *stage* berikutnya di dalam kompresor tidak tercapai. Oleh sebab itu, dikatakan bahwa kompresor mengalami penurunan performa diakibatkan tekanan udara bertekanan dibawah spesifikasi desain.

2.3 Intercooler 35-E di PT Badak LNG

Intercooler 35-E adalah salah satu tipe alat penukar panas (*heat exchanger*) yang digunakan di PT Badak LNG. *Intercooler* berbentuk *finned tubular heat exchanger*, atau lebih dikenal dengan nama *compact heat exchanger*. Alat ini berfungsi untuk menurunkan temperatur udara bertekanan yang keluar dari *discharge* setiap *stage* pada kompresor 35-K-1A. Komponen ini membantu kerja dari kompresor. Namun, komponen ini sering mengalami permasalahan yakni adanya *fouling* pada bagian *tube* sehingga komponen ini tidak dapat menurunkan temperatur sesuai dengan spesifikasi desain. Tak hanya itu *fouling* juga terjadi pada sisi *fin*.

Fouling (pengotoran) pada *intercooler* disebabkan oleh jenis fluida yang masuk kedalam *intercooler*. Fluida yang masuk pada *tube* adalah fluida air laut, sehingga pada *tube* terdapat faktor pengotor yang sesuai *design* sebesar $0,000176 \text{ m}^2.\text{K/W}$ dengan kecepatan ($v > 0,9 \text{ m/s}$). Sedangkan fluida yang masuk pada *fin* adalah udara bertekanan, sehingga pada sisi *fin* terdapat faktor pengotor sebesar $0,000176 \text{ m}^2.\text{K/W}$. Namun pada kenyataannya nilai faktor pengotor pada sisi *tube* dan *fin* lebih besar dari *design* yang ada. Oleh sebab itu *fouling* (pengotor) ini menyebabkan luas penampang dari *tube* dan *fin* menjadi berkurang. Hal ini menyebabkan laju perpindahan panas dan *effectiveness* pada *intercooler* menjadi berkurang. Selain itu *fouling* juga menyebabkan nilai *pressure drop* pada *intercooler* menjadi meningkat. Berikut adalah gambaran dari *intercooler* 35-E:



Gambar 2.4 Bentuk dari *Intercooler*

Pada gambar 2.4 dapat dilihat bahwa komponen dari *intercooler* dibagi menjadi 2 bagian yakni bagian *tube* dan bagian *fin*. Fluida yang melewati *tube* adalah air laut, sedangkan pada bagian *fin* dilewati oleh udara bertekanan.

2.4 Dasar Penelitian dan Perhitungan

2.4.1. Analisis Termodinamika Secara Umum

Pada saat kondisi *steady*, *massa* yang berada di dalam volume atur dan pada daerah *control volume* (pembatas) tidak mengalami perubahan berdasarkan waktu sesuai dengan gambar 2.5. Perpindahan energi dan laju aliran *massa* juga konstan terhadap waktu. Sehingga prinsip hukum konservasi *massa* dapat dilihat pada persamaan berikut :

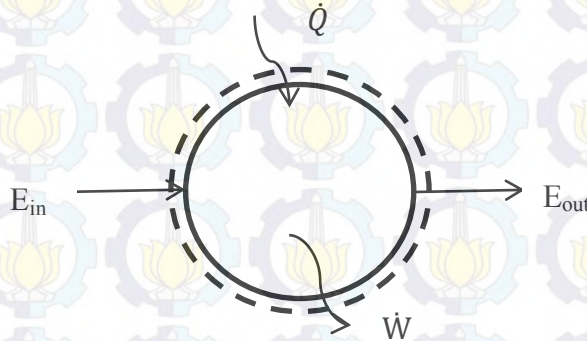
$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = 0$$

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \dots\dots\dots(2.2)$$

Sedangkan kekekalan energi pada volume atur sesuai dengan Hukum I Termodinamika adalah sebagai berikut :

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_{in} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) - \sum \dot{m}_{out} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) \dots (2.3)$$



Gambar 2.5 Skema sistem

Selama proses berjalan *steady*, maka total energi pada *control volume* adalah konstan ($E_{cv} = \text{constant}$), sehingga $dE_{cv}/dt = 0$. Sehingga persamaan dinyatakan sebagai berikut :

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_{in} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) - \sum \dot{m}_{out} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) = 0 \dots (2.4)$$

dengan :

- \dot{Q} = Laju alir panas (Watt)
- \dot{W} = Laju kerja (Watt)
- \dot{m} = Laju alir massa zat (kg/s)
- v = Kecepatan zat (m/s)
- h = *Entalphy* (kJ/kg)
- z = Ketinggian (m)

2.4.1.1. Analisis Termodinamika pada Kompresor

Kompresor 35-K-1A bekerja secara isentropik sehingga efisiensi untuk kompresor ini dapat ditunjukkan pada diagram

Mollier seperti pada gambar 2.6. Diagram tersebut menunjukkan proses yang dialami oleh kompresor isentropik dan nyata .

Dari diagram tersebut diketahui bahwa keadaan saat memasuki kompresor dan tekanan keluar adalah tetap. Dengan perpindahan kalor, energi kinetik dan energi potensial diabaikan, maka kerja per satuan massa yang mengalir melewati kompresor secara *actual* adalah :

$$\left(-\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}}\right) = h_2 - h_1 \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Sedangkan karena kompresor 35-K-1A bekerja secara isentropik maka kerja per satuan massa yang mengalir melewati kompresor dapat dinyatakan sebagai berikut :

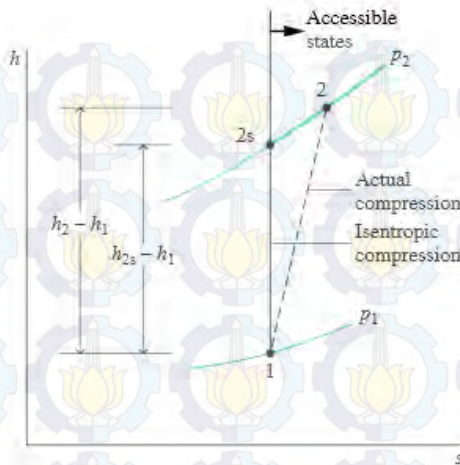
$$\left(-\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}}\right)_s = h_{2s} - h_1 \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh kompresor ini adalah perbandingan dari kerja per satuan massa kompresor secara isentropik dibandingkan dengan kerja per satuan massa kompresor secara nyata, dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\eta_c = \frac{\left(-\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}}\right)_s}{\left(-\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}}\right)} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan :

- $\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}}$ = kerja per satuan massa $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$
- h_2 = entalphy keluar kompresor secara actual $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$
- h_1 = entalphy masuk kompresor $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$
- h_{2s} = entalphy keluar kompresor isentropik $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$



Gambar 2.6 Perbandingan antara Kompresi Nyata dan Isentropik ^[5]

Berdasarkan dengan nilai efisiensi isentropic yang didapatkan sesuai dengan persamaan 2.7, didapatkan bahwa nilai efisiensi menurun seiring dengan *flow* yang masuk pada kompresor. Hal ini dapat dilihat pada grafik *Typical Compressor Performance* berikut ini :

Grafik pada gambar 2.7 menunjukkan sebuah kondisi operasi kompresor *centrifugal* secara umum. Berdasarkan kondisi operasi tersebut diketahui bahwa untuk menghasilkan debit tertentu, suatu kompresor dapat beroperasi dalam putaran yang berbeda dengan tekanan dan efisiensi yang berbeda pula. Hal ini dapat ditunjukkan dengan operasi kompresor pada gambar 2.7, misalnya ketika sebuah kompresor menghasilkan debit sebesar 3052 CFM (titik a) maka nilai *pressure*, efisiensi isentropik, dan putaran kompresor dapat memiliki nilai yang berbeda (titik b, c, dan d). Ketika kompresor beroperasi dengan putaran yang sama (garis e-f), maka nilai efisiensi *isentropic* kompresor mengalami kenaikan hingga mencapai titik tertentu, kemudian efisiensi ini

mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai *flow* pada kompresor tersebut. Penambahan nilai *flow* pada kompresor juga berdampak pada penurunan tekanan yang terjadi pada kompresor. Penurunan tekanan ini menyebabkan sebuah fenomena *stone wall*, dimana nilai *flow* dari kompresor tidak dapat bertambah meskipun putaran kompresor ditingkatkan.

2.4.1.2. Analisis Termodinamika pada *Intercooler*

Analisis pada *Intercooler* dapat dibagi menjadi 2 yakni :

a.) Kestimbangan Massa

Kestimbangan *massa* pada *intercooler* dapat dijabarkan dengan persamaan berikut:

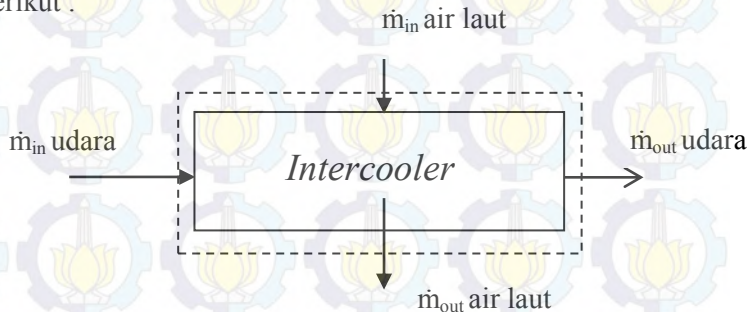
$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out}$$

dengan :

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{in} \text{ air laut} + \sum \dot{m}_{in} \text{ udara bertekanan} \dots \dots (2.8)$$

$$\sum \dot{m}_{out} = \sum \dot{m}_{out} \text{ air laut} + \sum \dot{m}_{out} \text{ udara bertekanan} \dots (2.9)$$

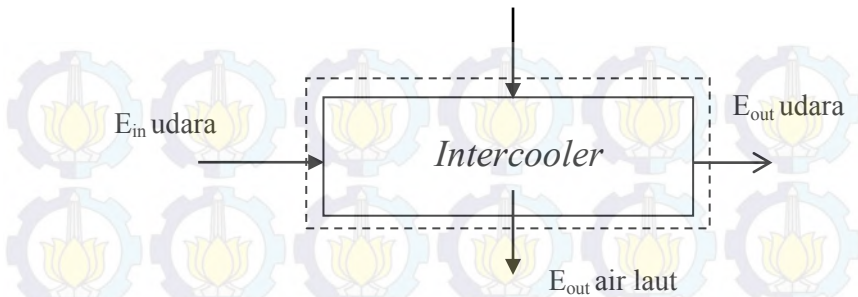
Skema dari kestimbangan *massa* dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 2.8 Kestimbangan *Massa* pada *Intercooler*

b.) Kestimbangan Energi

$E_{in} \text{ air laut}$



Gambar 2.9 Kestimbangan Energi pada *Intercooler*

Dari gambar 2.8 dapat diketahui bahwa ada energi masuk pada sistem yang berasal dari energi air laut dan udara bertekanan. Di dalam sistem tidak terdapat energi bangkitan ($\dot{E}_g = 0$) dan sistem dalam kondisi *steady state* ($\frac{dE_{cv}}{dt} = 0$). Sehingga persamaan kestimbangan energi menjadi sebagai berikut:

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m} \left(h_{in} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) - \sum \dot{m} \left(h_{out} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\dot{Q} = \sum \dot{m} (h_1 - h_2) \dots\dots\dots(2.11)$$

Sehingga nilai kalor terbagi menjadi dua yakni kalor yang terjadi pada *tube* dan *fin*. Persamaan pada *tube* dan *fin* dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Kalor yang terjadi pada sisi fluida udara bertekanan
 $\dot{Q}_{fin} = \sum \dot{m} (h_1 - h_2) \dots\dots\dots(2.12)$

- Kalor yang terjadi pada sisi fluida air laut
 $\dot{Q}_{tube} = \sum \dot{m} (h_1 - h_2) \dots\dots\dots(2.13)$

dengan :

- \dot{Q}_{fin} : Panas yang dilepas oleh udara bertekanan (watt)
- \dot{Q}_{tube} : Panas yang diterima oleh air laut (watt)

2.4.2 Analisis Perpindahan Panas

2.4.2.1. Analisis *Heat Exchanger* dengan Metode *Number of Transfer Unit* (NTU)

Metode ini dipakai untuk mengetahui unjuk kerja alat penukar kalor yang sudah ada. Dalam sistem ini adalah *intercooler*. Di dalam mendefinisikan unjuk kerja dari penukar kalor terlebih dahulu harus diketahui laju perpindahan panas maksimum yang dimungkinkan oleh alat penukar kalor tersebut (q_{maks}). Sebelum mencari nilai q_{maks} , terlebih dahulu dicari nilai C_{min} yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$C_c = \dot{m}_c \times c_{p_c}$$

atau,

$$C_h = \dot{m}_h \times c_{p_h}$$

Jika nilai $C_c < C_h$, maka $q_{maks} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i})$ (2.14)

Namun jika $C_c > C_h$, maka $q_{maks} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i})$(2.15)

Selanjutnya setelah mendapatkan nilai q_{maks} , dihitung pula nilai kalor yang dihasilkan dari sistem *intercooler* yang berasal dari perhitungan secara termodinamika yakni :

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{fin} = \dot{Q}_{tube} \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

Kemudian nilai *Number of Transfer unit* (NTU) dapat didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

dan nilai dari *overall heat transfer* dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{oh\ udara}} + \frac{R_{f,c}}{\eta_o} + R_w + \frac{R_{f,h}}{\eta_o} + \frac{1}{\eta_{oh\ air\ laut}}} \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan :

- U : nilai *overall heat transfer* (W/m².K)

- $R_{f,i}''$: nilai *fouling factor* ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
- h_i : nilai *coefficient convection* ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
- A : luas permukaan (m^2)

Nilai efisiensi *overall* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$\eta_o = 1 - \frac{A_f}{A} (1 - \eta_f) \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan :

- A_f : luas *fin* (m^2)
- A : luas total (m^2)
- η_f : efisiensi *fin*

Nilai luas *fin*, luas total penampang *intercooler*, dan efisiensi *fin intercooler* didapatkan berdasarkan persamaan berikut :

- Nilai luas *fin* :

$$A_{\text{total}} = A_p + A_f \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Nilai *primary surface area* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$A_p = \pi d_o (L_1 - \delta N_f L_1) N_t + 2 \left(L_2 L_3 - \frac{\pi d_o^2}{4} N_t \right) \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

Kemudian nilai luas *fin (secondary area)* didapatkan dengan persamaan berikut :

$$A_f = \left(L_2 L_3 - \left(\frac{\pi d_o^2}{4} \right) N_t \right) N_f L_1 + (2 L_3 \delta N_f L_1) \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

dengan :

- d_o : diameter outer (m)
- L_1 : tinggi komponen *intercooler* (m)
- N_f : banyaknya jumlah *fin* per tinggi dari komponen *intercooler* (unit/m)
- N_t : jumlah *tube* (unit)
- L_2 : panjang komponen *intercooler* (m)
- L_3 : lebar komponen *intercooler* (m)
- δ : ketebalan *fin* (m)

- Efisiensi dari *fin* adalah efisiensi yang dihasilkan oleh alat tersebut akibat adanya permukaan yang bersirip, dan dapat dinyatakan sebagai berikut:

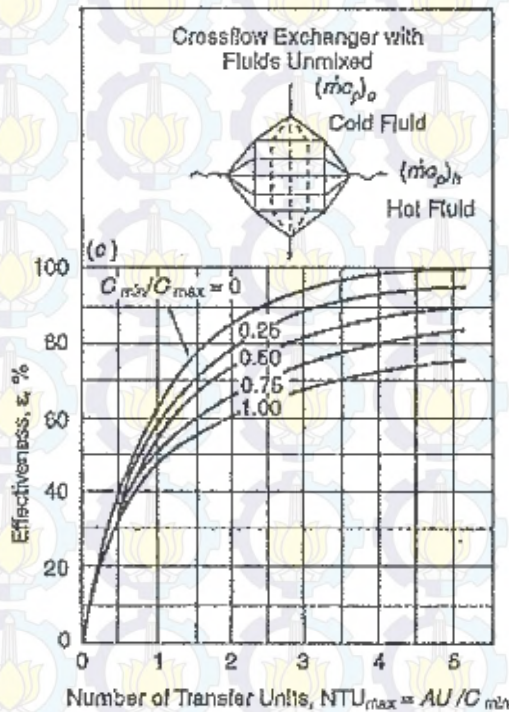
$$\eta_f = \frac{\tanh(mL)}{mL} \dots \dots \dots (2.23)$$

dimana,

$$m = \left(\frac{2h}{kt}\right)^{1/2} \dots \dots \dots (2.24)$$

dengan :

- t : ketebalan *fin* (m)
- h : koefisien konveksi ($W/m^2.K$)
- k : koefisien konduksi ($W/m.K$)
- L : panjang *fin* (m)



Gambar 2.10 Grafik NTU vs Effectiveness ^[3]

Selanjutnya didapatkan nilai *effectiveness* (ε) yang merupakan bilangan tanpa dimensi dan berada dalam batas $0 < \varepsilon < 1$.

1. *Effectiveness* dapat diperoleh melalui 2 cara yakni :

1. membandingkan antara laju perpindahan panas *heat exchanger* dan laju perpindahan maksimum yang dimungkinkan, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{maks}} \dots\dots\dots (2.25)$$

2. melalui grafik sebagai fungsi antara NTU dan $\frac{C_{min}}{C_{maks}}$.

Grafik yang digunakan untuk mencari nilai *effectiveness* seperti pada gambar 2.9.

2.4.2.2. *Presure Drop pada Finned Tube Exchanger*

Pada sebuah aliran normal yang melintasi daerah *finned tube exchanger* didapatkan sebuah nilai penurunan tekanan pada bagian *fin* dan *tube*.

- a. Penurunan Tekanan pada sisi *fin* dapat dinyatakan seperti berikut :

$$\Delta p = \frac{G^2}{2\rho_i} \left(f \frac{A_t}{A_{min}} \frac{\rho_i}{\rho} + (1 + \sigma^2) \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1 \right) \right) \dots\dots\dots (2.26)$$

dimana,

$$\sigma = \frac{A_{min}}{A_{fr}} = \frac{\text{minimum free-flow free}}{\text{frontal area}} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\frac{A_t}{A_{min}} = \frac{4L}{D_h} = \frac{\text{total heat transfer area}}{\text{minimum flow area}} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$G = \frac{\rho U_{\sim} A_{fr}}{A_{min}} = \frac{\rho U_{\sim}}{\sigma} \dots\dots\dots (2.29)$$

Pada persamaan tersebut, ρ merupakan rata-rata dari *density* yang dievaluasi pada temperatur antara *inlet* dan *outlet*, dan dapat diestimasikan bahwa *specific volume* antara *inlet* dan *outlet* adalah :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\rho_i} + \frac{1}{\rho_o} \right) \dots\dots\dots (2.30)$$

b. Penurunan Tekanan pada sisi *Tube*

Pressure Drop pada sisi *Tube* dibagi menjadi 2 yakni *major losses* dan *minor losses* dan dinyatakan dalam persamaan dibawah ini :

$$\Delta p = \Delta p_{\text{mayor}} + \Delta p_{\text{minor}} \dots \dots \dots (2.31)$$

$$\Delta p = f \frac{L}{d} \frac{\rho v^2}{2} + k \frac{\rho v^2}{2} \dots \dots \dots (2.32)$$

dengan :

- L : panjang *tube* (m)
- V : kecepatan *tube* (m/s)
- k : *coeffisient losses* pada *valve*, dll
- d : diameter (m)

2.5 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan pertimbangan dalam proses perhitungan dan analisis *intercooler* pada kompresor ini yaitu :

2.5.1. Aloysius Eddy Liemena ^[1]

Aloysius Eddy Liemena (2010) melakukan sebuah penelitian yang berjudul “*Analisis Energi pada Kompresor Tiga Tingkat yang Mengalami Penurunan Tekanan*”. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kerja spesifik dan mendapatkan tingkat laju aliran udara, sehingga didapatkan daya yang diperlukan oleh kompresor saat sebelum dan sesudah mengalami penurunan tekanan udara.

Peneliti melakukan analisis berdasarkan prinsip kekekalan *massa* maupun energi untuk sistem terbuka, selanjutnya juga menganalisis proses aliran *steady*. Analisis ini dilakukan hanya pada bagian kompresor dan *intercooler*. Metodologi penelitian yang digunakan oleh peneliti adalah mengevaluasi kerja spesifik dan daya yang dibutuhkan oleh kompresor sebelum dan sesudah penurunan tekanan untuk. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa untuk mendapatkan laju aliran massa udara pada kompresor sebesar 0,007903 kg/s dibutuhkan daya sebesar 5,2146 kW atau meningkat sebesar

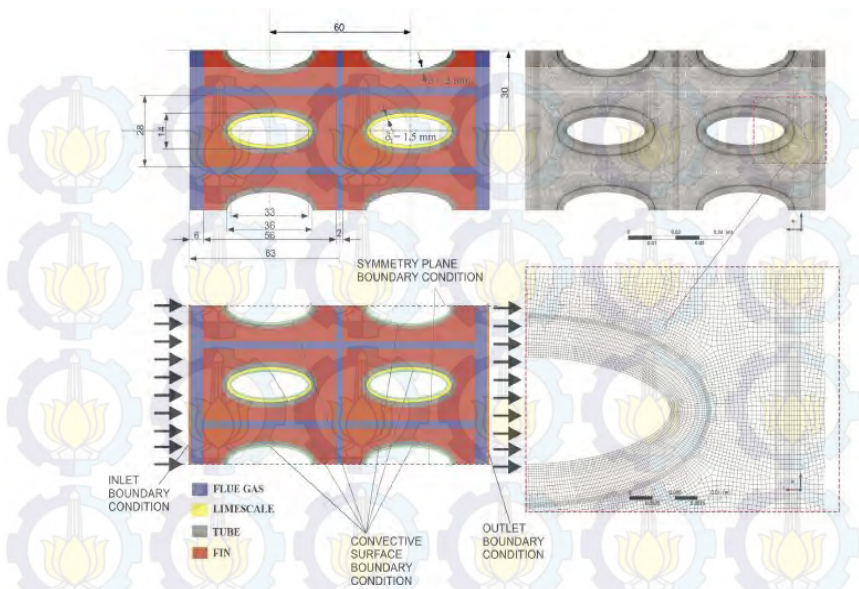
1,418 kali dari daya yang dibutuhkan pada saat sebelum penurunan tekanan sebesar 3,677 kW.

2.5.2. Lopata Stanislaw and Ocłoń, Pawel ^[4]

Lopata Stanisław and Ocłoń, Pawel (2015) melakukan sebuah penelitian yang berjudul “Studi numerik akibat adanya *fouling* terhadap perpindahan panas pada *tube fin heat exchanger* saat beroperasi dengan suhu tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak adanya *fouling* pada *inner elliptical tube* terhadap temperatur dan perpindahan panas pada proses pendinginan gas buang di dalam komponen *tube fin heat exchanger*. Peneliti melakukan sebuah pemodelan adanya *fouling* tersebut dengan menggunakan ANSYS CFX. Software ini digunakan untuk menentukan kecepatan, perpindahan panas, dan distribusi temperatur *flue gas* diantara sisi *tube* dan *fin*. Pemodelan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.10.

Pemodelan ini menghasilkan beberapa kesimpulan yakni :

- *Heat Flux* terbesar terjadi pada dinding permukaan depan tabung elips baris pertama
- Setelah terjadi *fouling* maka *heat flux* mengalami penurunan hingga tinggal 1/5 nilai saat permukaan dalam *tube* bersih
- Terjadi penurunan efisiensi pada komponen



Gambar 2.11 Pemodelan *tube* dengan menggunakan ANSYS CFX



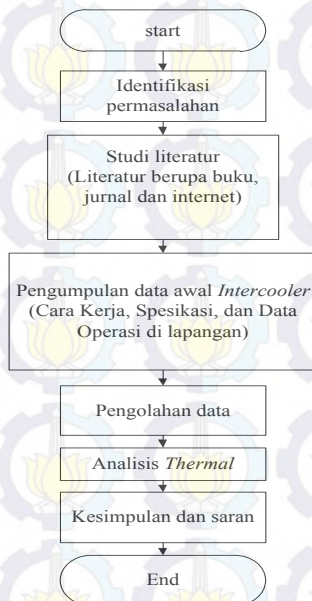
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Secara Umum

Metodologi adalah kerangka yang terdiri dari tahapan-tahapan dalam menyelesaikan tugas akhir. Metodologi penelitian tugas akhir ini mencakup seluruh kegiatan yang dilaksanakan dalam memecahkan masalah dan melakukan proses analisis terhadap permasalahan tugas akhir.

3.2 Metodologi

Metodologi di dalam menyelesaikan Tugas Akhir dapat ditunjukkan secara lengkap dengan langkah-langkah sebagai berikut :



Gambar 3.1 *Flowchart Analisis*

3.3 Pengumpulan Data

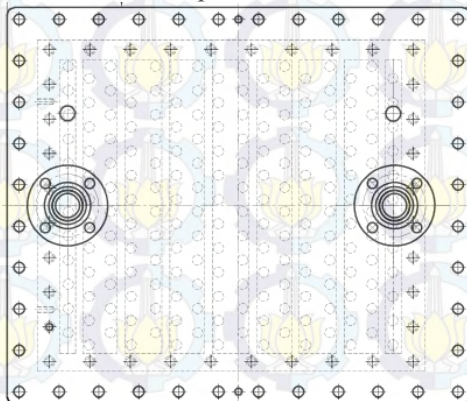
Data yang dibutuhkan untuk menganalisis *Intercooler 35-E* diperoleh dari dokumen di PT Badak LNG. Dokumen tersebut berisi tentang gambar desain *intercooler*, spesifikasi teknis *intercooler*, data *commissioning*, serta data *performance test* saat beroperasi.

3.3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *Intercooler 35-E* di PT Badak LNG. Berikut adalah penampang dan penampang gambar tampak atas dari *intercooler 35-E* :



Gambar 3.2 Komponen *Intercooler 35-E-1*



Gambar 3.3 *Intercooler* Tampak Atas

Intercooler ini merupakan salah satu produk :

- Buatan : *PT INDOCOOL SOLUSI CEMERLANG*
- Tipe : *Compact Heat Exchanger (finned-tube)*

dengan:

- *Fin* : terdiri dari 1 laluan
- *Tube* : terdiri dari 16 laluan

3.3.2 Spesifikasi *Intercooler* 35-E di PT Badak LNG

Berikut adalah data spesifikasi *intercooler* 35-E yang berada pada *plant* 35 di PT Badak LNG dari segi *performance* per unit dan juga kontruksi komponen tersebut:

Tabel 3.1 Spesifikasi *Intercooler*

<i>Performance of One Unit</i>				
	<i>Shellside</i>		<i>Tubeside</i>	
<i>Fluid Circulated</i>	<i>Air</i>		<i>Sea Water</i>	
<i>Total Fluid Entering (kg/h)</i>	6514		16125	
	In	Out	In	Out
<i>Vapor (kg/h.mol.W)</i>	227.5			
<i>Condensate (kg/h.mol.W)</i>	6280			
<i>Fluid Vaporized/Condensed (kg/h)</i>	78.5			
<i>Gravity</i>			1	
<i>Viscosity (m²/s)</i>			2.06 x 10 ⁻⁵	
<i>Spesific Heat (Kj/kg. K)</i>			4.1868	
<i>Temperatur (° C)</i>	154.4	43.28	29.4	43.3
<i>Operating Pressure (GAUGE) kg/cm²</i>	2.49	3.09		
<i>No Passes/Shell</i>	1		16	
<i>Velocity (m/s)</i>	1.26		2.33	
<i>Fouling Resistance (m².K/W)</i>	0.0002		0.0004	

<i>Heat Exchanged</i>	0.261130 MW MTD	28.9 °C		
-----------------------	-----------------------	------------	--	--

<i>Construction</i>			
		<i>Shellside</i>	<i>Tubeside</i>
<i>Design Pressure (kg/cm²)</i>		5.27/8.09	8.79/13.18
<i>Design Temperatur (°C)</i>		204	65.5
<i>Corrosion Allowance (mm)</i>		1.5875	1.5875
<i>Connection</i>	<i>Inlet (mm)</i>	203.2	38.1
<i>Size</i>	<i>Outlet (mm)</i>	152.4	38.1
<i>Rating</i>		STD. WT	150 RF

<i>Tube Material</i>	90/10 Cu Ni		
<i>Shell</i>	<i>Steel</i>	<i>Shellcover</i>	<i>Steel</i>
<i>Channel/Sonnet</i>		<i>Channel Cover</i>	<i>Steel</i>
<i>Tubesheet-Stationary</i>	90/10 Cu Ni	<i>Tubesheet Floating</i>	<i>Steel</i>
<i>Floating Hard Cover</i>	Steel		
<i>Gaskets</i>	Asbestos (Bounded)		
<i>Code Requirement</i>	ASME VIII, Div.1	TEMA	Class C
<i>Weight</i>	<i>Each Shell</i>		

3.3.3 Data Operasi

3.3.3.1 Data Performance Test

Data *performance test* kompresor 35-K-1A di PT Badak LNG pada bulan Desember 2014, Januari 2015, dan April 2015 yang dijadikan sebagai data acuan di dalam melakukan analisis

kompresor 35-K-1A dan *intercooler* 35-E terdapat pada tabel 3.2, 3.3, dan 3.4. Berdasarkan dengan tabel *performance test* tersebut terdapat nilai *blow off opening valve* dengan nilai 100%, 80%, dan seterusnya. Nilai *blow off* ini menunjukkan nilai pembukaan valve sebagai masuknya udara kedalam kompresor. Berdasarkan data tersebut terdapat nilai 100% opening yang memiliki arti bahwa *valve* terbuka secara penuh untuk mengalirkan udara masuk kedalam kompresor. Kemudian terdapat bukaan 80% yang memiliki arti bahwa *valve* terbuka 80 persen dan tertutup 20 %. Pembukaan 80 persen ini menunjukkan bahwa luasan masuknya udara melalui valve berkurang 20%. Pengurangan luasan saluran masuknya udara melalui *valve* ini selanjutnya terjadi seiring dengan bukaan *valve* pada kompresor yang diperkecil. Berikut adalah data *performance test* kompresor 35-K-1A :



Tabel 3.2 Data *Performance Test* pada 30 Desember 2014 saat kompresor mengalami *low performance*

35K-1A Performance Test										Date: 30/12/14					9:00:00 WIT					
										Prepared by: IAG										
Ref:										FlowFactor										
Parameters	Unit	Tag No.	Pt1	Ref	Pt2	Ref	Pt3	Ref	Pt4	Ref	Pt5	Ref	Pt6	Ref	Pt7	Ref	Pt8	Ref	Pt9	Ref
Time																				
PV	%																			
BlowOff Opening	%	lokal	100		80		70		65		60		55		50		45			
Inlet Valve Opening	%	lokal	100		100		100		100		100		100		100		100			
Tin	Deg-C	lokal																		
Pin	kg/cm ² g	lokal	0		0		0		0		0		0		0		0			
Dp (Read from panel)	mmH ₂ O	lokal	37,2		37,5		36,5		36,1		35,8		35,2		34		34,1			
Tout	Deg-C	lokal	150		150		150		150		152		152		152		152			
Pout	kg/cm ² g	lokal	1,3		1,3		1,3		1,3		1,4		1,4		1,4		1,4			
Stage 2 (After Intercooler 1)																				
Tin	Deg-C	lokal	38		39		40		40		40		40		40		40			
Pin	kg/cm ² g	lokal	1		1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1		1,1			
Tout	Deg-C	lokal	160		160		160		160		160		160		160		160			
Pout	kg/cm ² g	lokal	4,3		4,3		4,4		4,5		4,5		4,6		4,7		4,8			
Stage 3 (After Intercooler 2)																				
Tin	Deg-C	lokal	44		45		46		46		46		46		46		46			
Pin	kg/cm ² g	lokal	3,7		3,7		3,8		3,8		3,9		3,9		4,1		4,2			
Tout	Deg-C	lokal	120		124		125		125		125		125		125		125			
Pout	kg/cm ² g	lokal	5,9		6		6,1		6,1		6,3		6,6		7		7,4			
Aftercooler																				
Tout (Read from Panel)	Deg-C	lokal	30,1		30,58		30,78		30,96		31,36		31,66		31,81		33,02			
Pout (Read at PI near motor)	kg/cm ² g	lokal	5,9		6		6,1		6,1		6,3		6,6		7		7,4			
Discharge Flow	SCFM	lokal	3052		3029		2987		2942		2908		2790		2624		2450			
Amperes (Rad from Panel)	Amps	lokal	91,52		90,62		90,11		89,73		87,57		87,57		86		83,72			
Vibration - Bull Gear	IPS	DCS	1,67		1,72		1,67		1,72		1,7		1,7		1,7		1,75			
Vibration - 1st Stage	mils	DCS	0,427		0,43		0,43		0,43		0,43		0,43		0,44		0,44			
Vibration - 2nd Stage	mils	DCS	0,664		0,62		0,602		0,58		0,59		0,59		0,59		0,58			
Vibration - 3rd Stage	mils	DCS	0,42		0,43		0,43		0,43		0,44		0,44		0,45		0,463			

Tabel 3.3 Data *Performance Test* pada Kompresor 19 Januari 2015 saat kompresor mengalami *low performance*

35K-1A Performance Test															Date: 19/01/15					5:00:00 WIT				
Ref:															Prepared by: IAG:FY					FlowFactor				
Parameters	Unit	Tag No.	Pt1	Ref	Pt2	Ref	Pt3	Ref	Pt4	Ref	Pt5	Ref	Pt6	Ref	Pt7	Ref	Pt8	Ref	Pt9	Ref				
Time																								
PV	%																							
BlowOff Opening	%	lokal	100		80		70		65		60		55		50		45		40	35				
InletValve Opening	%	lokal	100		100		100		100		100		100		100		100		100	100				
Tin	Deg-C	lokal																						
Pin	kg/cm ² g	lokal	0		0		0		-		0		0		0		0		0	0				
Dp (Read from panel)	mmH ₂ O	lokal	35,2		35,5		35,1		-		35,1		37,8		32,5		30,6		30,4	30,4				
Tout	Deg-C	lokal	140		140		140		-		140		140		140		140		140	150				
Pout	kg/cm ² g	lokal	1,2		1,2		1,2		-		1,2		1,2		1,2		1,3		1,38	1,4				
Stage 2 (After Intercooler 1)																								
Tin	Deg-C	lokal	38		38		38		-		38		38		38		38		38	38				
Pin	kg/cm ² g	lokal	1		1		1		-		1		1		1		1		1	1				
Tout	Deg-C	lokal	158		158		160		-		160		160		160		160		160	160				
Pout	kg/cm ² g	lokal	3,3		3,3		3,4		-		3,4		3,6		3,7		3,9		4	4				
Stage 3 (After Intercooler 2)																								
Tin	Deg-C	lokal	38		38		39		-		39		39		39		39		39	39				
Pin	kg/cm ² g	lokal	3,5		3,5		3,6		-		3,7		3,8		4		4,1		4,2	4,2				
Tout	Deg-C	lokal	115		115		115		-		115		117		118		118		118	118				
Pout	kg/cm ² g	lokal	5,8		5,8		6		-		6,4		6,6		7		7,4		7,6	7,65				
Aftercooler																								
Tout (Read from Panel)	Deg-C	lokal																						
Pout (Read at PI near motor)	kg/cm ² g	lokal																						
Discharge Flow	SCFM	lokal	3050		3040		2987		-		2880		2783		2658		2470		2370	2355				
Amperes (Rad from Panel)	Amps	lokal	88,3		87,9		87,3		-		86,6		85,6		84,3		82		81	81				
Vibration - Bull Gear	IPS	DCS	1,69		1,67		1,7		-		1,65		1,69		1,7		1,67		1,68	1,68				
Vibration - 1st Stage	mils	DCS	0,43		0,43		0,43		-		0,43		0,43		0,43		0,41		0,43	0,44				
Vibration - 2nd Stage	mils	DCS	0,6		0,59		0,59		-		0,58		0,58		0,56		0,56		0,56	0,56				
Vibration - 3rd Stage	mils	DCS	0,38		0,39		0,39		-		0,39		0,4		0,41		0,41		0,41	0,41				

35K-1A Performance Test										Date: 28/04/2015										10:00:00 WITA									
Prepared by: <u>FRL</u>																													
Ref: 19 December 2008										Flow Factor: 496.2																			
Parameters	Unit	Tag No.	Pt1	Ref	Pt2	Ref	Pt3	Ref	Pt4	Ref	Pt5	Ref	Pt6	Ref	Pt7	Ref	Pt8	Ref	Pt9	Ref	Pt10	Ref							
Time			10:50		11:05		11:10		11:15		11:22		-		11:25		-		11:27		11:32								
PV	%																												
BlowOff Opening	%	HC-37E	100	100	100	100	80	80	70	70	65	65	60	60	55	55	50	50	45	45	40	40							
Inlet Valve Opening	%	PV-34C	20	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100							
Stage 1																													
Tin	Deg-C	TI-220	58	33	58	34	58	34	60	34	60	34		34	60	34		34	58	34	60	-							
Pin	kg/cm ²	PI-232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-							
Dp (Read from panel)	mmH2O	PDI-159	70	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	25	75	-							
Tout	Deg-C	TI-233	125	124.5	130	138	130	140	130	142	140	142		142	140	142		142	140	142	140	-							
Pout	kg/cm ²	PI-221	0.96	0.95	1.24	1.2	1.24	1.2	1.24	1.2	1.24	1.2	1.2		1.2	1.24	1.25		1.3	1.24	1.3	1.24							
Stage 2 (After Intercooler 1)																													
Tin	Deg-C	TI-103	25	38	26	45	26	46.5	23	47	28	46.5		46.5	27	46.5		46.5	27	46.5	27	-							
Pin	kg/cm ²	PI-124	1	0.85	1.1	1	1.1	1	1.1	1	1.1	1	1	1	1.1	1	1.1	1	1.1	1.1	1.1	-							
Tout	Deg-C	TI-222	150	154	160	164	160	166	160	166	160	166		166	160	166		166	160	166	160	-							
Pout	kg/cm ²	PI-234	3.17	3.5	3.5	4	3.58	4.1	3.58	4.2	3.72	4.25		4.35	3.86	4.45		4.5	3.86	4.7	4.27	-							
Stage 3 (After Intercooler 2)																													
Tin	Deg-C	TI-104	36	32	42	38	42.5	39.5	43	39.5	43	39.5		39.5	43	39.5		39.5	42	38	41.5	-							
Pin	kg/cm ²	PI-123	3.4	3.6	39	4.2	3.9	4.3	4	4.4	4.1	4.5		4.5	4.3	4.6		4.75	4.6	4.9	4.6	-							
Tout	Deg-C	TI-216	90	119	120	130	120	130.5	115	133	120	133		133	120	133		133	120	133	120	-							
Pout	kg/cm ²	PI-235	6.3	6.4	7	7.2	7.1	7.5	7.3	7.8	7.5	7.95		8.2	8.1	8.7		8.8	8.4	9.1	8.5	-							
Aftercooler																													
Tout (Read from Panel)	Deg-C	TE 145	31.09	30.78	30.71	30.8	30.54	30.9	30.61	30.9	30.67	30.9		31	30.85	31.03		31.08	31.07	31.08	31.24	-							
Pout (Read at P1 near motor)	kg/cm ²	PI 119	6.2	6.6	7.1	7.4	7.2	7.6	7.4																				

35K-1A Performance Test										Date: 28/04/2015										10:00:00 WITA									
Prepared by: <u>FRL</u>																													
Ref: 19 December 2008										Flow Factor: 496.2																			
Parameters	Unit	Tag No.	Pt1	Ref	Pt2	Ref	Pt3	Ref	Pt4	Ref	Pt5	Ref	Pt6	Ref	Pt7	Ref	Pt8	Ref	Pt9	Ref	Pt10	Ref							
Time			10:50		11:05		11:10		11:15		11:22		-		11:25		-		11:27		11:32								
PV	%																												
BlowOff Opening	%	HC-37E	100	100	100	100	80	80	70	70	65	65	60	60	55	55	50	50	45	45	40	40							
Inlet Valve Opening	%	PV-34C	20	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100							
Stage 1																													
Tin	Deg-C	TI-220	58	33	58	34	58	34	60	34	60	34		34	60	34		34	58	34	60	-							
Pin	kg/cm ²	PI-232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-							
Dp (Read from panel)	mmH2O	PDI-159	70	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	25	75	-							
Tout	Deg-C	TI-233	125	124.5	130	138	130	140	130	142	140	142		142	140	142		142	140	142	140	-							
Pout	kg/cm ²	PI-221	0.96	0.95	1.24	1.2	1.24	1.2	1.24	1.2	1.24	1.2	1.2		1.2	1.24	1.25		1.3	1.24	1.3	1.24							
Stage 2 (After Intercooler 1)																													
Tin	Deg-C	TI-103	25	38	26	45	26	46.5	23	47	28	46.5		46.5	27	46.5		46.5	27	46.5	27	-							
Pin	kg/cm ²	PI-124	1	0.85	1.1	1	1.1	1	1.1	1	1.1	1	1	1	1.1	1	1.1	1	1.1	1.1	1.1	-							
Tout	Deg-C	TI-222	150	154	160	164	160	166	160	166	160	166		166	160	166		166	160	166	160	-							
Pout	kg/cm ²	PI-234	3.17	3.5	3.5	4	3.58	4.1	3.58	4.2	3.72	4.25		4.35	3.86	4.45		4.5	3.86	4.7	4.27	-							
Stage 3 (After Intercooler 2)																													
Tin	Deg-C	TI-104	36	32	42	38	42.5	39.5	43	39.5	43	39.5		39.5	43	39.5		39.5	42	38	41.5	-							
Pin	kg/cm ²	PI-123	3.4	3.6	39	4.2	3.9	4.3	4	4.4	4.1	4.5		4.5	4.3	4.6		4.75	4.6	4.9	4.6	-							
Tout	Deg-C	TI-216	90	119	120	130	120	130.5	115	133	120	133		133	120	133		133	120	133	120	-							
Pout	kg/cm ²	PI-235	6.3	6.4	7	7.2	7.1	7.5	7.3	7.8	7.5	7.95		8.2	8.1	8.7		8.8	8.4	9.1	8.5	-							
Aftercooler																													
Tout (Read from Panel)	Deg-C	TE 145	31.09	30.78	30.71	30.8	30.54	30.9	30.61	30.9	30.67	30.9		31	30.85	31.03		31.08	31.07	31.08	31.24	-							
Pout (Read at P1 near motor)	kg/cm ²	PI 119	6.2	6.6	7.1	7.4	7.2	7.6	7.4	8	7.6	8.1		8.2	8.2	8.35		9	8.8	9.2	9	-							
Discharge Flow	SCFM	FI 119	3411	3473.4	3325	3325	3300	3275	3200	3200.49	3128	3151		3076	2995	2977		2853	2727	2779	2674	-							
Ampères (Rad from Panel)	Amps	II 37	99.6	91.7	102.26	99.17	101.83	97.2	101.9	96.5	100.36	95.8		94.8	98.2	93.1		91.25	96.06	88.32	95.16	-							
Vibration - Bull Gear	IPS	YE 30A																											
Vibration - 1st Stage	mls	YE 30B																											
Vibration - 2nd Stage	mls	YE 30C																											
Vibration - 3rd Stage	mls	YE 30D																											

3.3.3.2. Data Comissioning

Data *commissioning* kompresor 35-K-1A adalah data yang didapatkan oleh PT Badak LNG saat komponen ini baru digunakan. Data *commissioning* ini terdiri dari data temperatur dan *pressure* pada setiap *stage* kompresor. Berikut adalah data temperatur saat *commissioning* kompresor 35-K-1A:

Tabel 3.5 Data Temperatur saat *Commisioning*

Time	First Stage Inlet Temperatur (°F)				First Stage Discharge Temperatur (°F)			Second Stage Inlet Temperatur (°F)	
10.15	80	80	79	81	286	286	286	89.5	91
	79	80	80	80	287	287	287	90	91.8
	79.87				286.58			90.57	

Second Stage Discharge Temperatur (°F)			Third Stage Inlet Temperatur (°F)		Third Stage Discharge Temperatur (°F)		
301.5	302	303	91.5	91.3	229	230	229.5
302.5	302.5	303.5	91.5	91.5	229.3	230.3	230
302.5			91.45		229.68		

Berikut adalah data *pressure* saat *commissioning* kompresor 35-K-1A :

Tabel 3.6 Data *Pressure* saat *Commisioning*

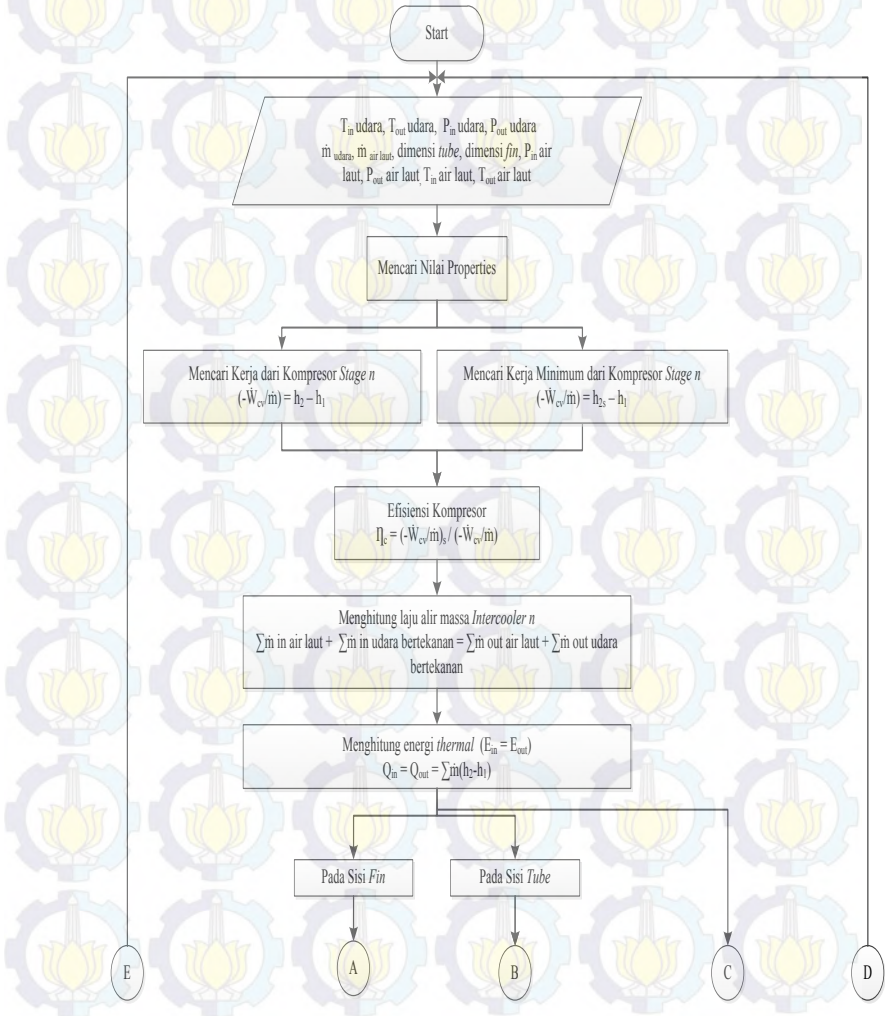
First Stage Inlet Pressure (HG)									First Stage Discharge Pressure (PSIG)		
10.15	0.75	0.8	0.85	1.15	0.7	0.7	0.7	0.7	19	19	19.1
	0.65	0.8	0.4	1.15	0.7	0.7	0.7	0.7	19.1	18.8	19.1
-1.45									19.01		

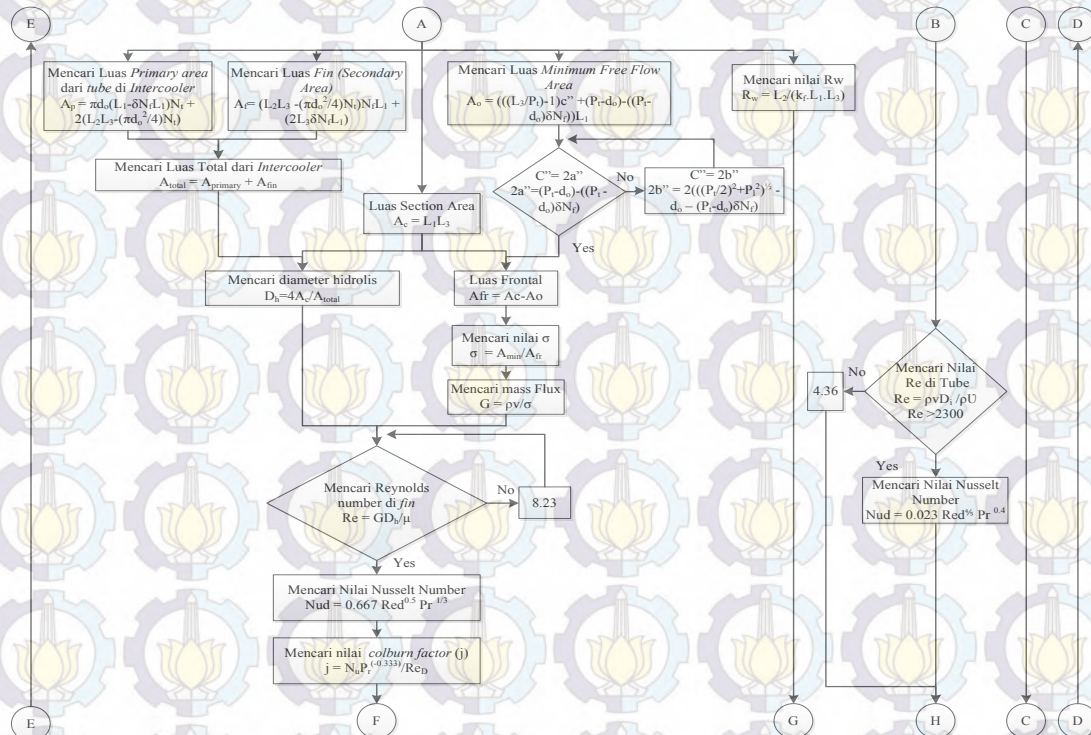
Second Stage Inlet Pressure (PSIG)				Second Stage Discharge Pressure (PSIG)		
18.6	18.4	18.6		63.8	63.2	63.2
18.6	18.4	18.5		63.7	63	64
18.51				63.4		

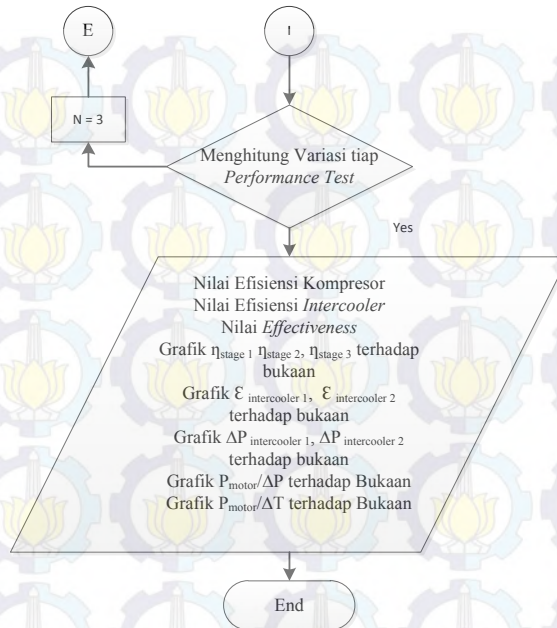
Third Stage Inlet Pressure (PSIG)			Third Stage Discharge Pressure (PSIG)		
62.3	62.3	61.8	123.5	123.8	123.4
62.4	62.2	61.9	123.5	123.7	123.4
62.2			123.6		

3.4 Flowchart Perhitungan

Berikut adalah *flowchart* perhitungan di dalam melakukan analisis kompresor 35-K-1A dan *intercooler* 35-E di PT Badak LNG :







Gambar 3.4 Flowchart Perhitungan

BAB IV ANALISIS dan PEMBAHASAN

4.1 Data Operasi

Data yang dibutuhkan untuk menganalisis *intercooler* 35-E diperoleh dari dokumen di PT Badak LNG. Dokumen ini terdiri dari spesifikasi teknis *intercooler*, 3 data *performance test* kompresor 35-K-1A yakni *performance test* bulan Desember 2014, Januari 2015, dan April 2015, serta data *comissioning* awal saat kompresor digunakan pada *plant* 35 di PT Badak LNG. Data hasil *performance test* tersebut sesuai dengan tabel 3.2, 3.3, dan 3.4 pada bab 3, serta data hasil *commissioning* pada tabel 3.5 dan 3.6. Berikut adalah data dimensi dari *fin* pada *intercooler* yang dijadikan sebagai acuan dalam melakukan perhitungan secara perpindahan panas :

Tabel 4.1 Data Dimensi *Fin* pada *Intercooler*

Outside Diameter (OD)	0.015875 m
P_T	0.0381 m
P_L	0.033 m
N_T	12
N_L	16
N_{tubes}	192
N_{fin}	1164
Thickness Fin (δ)	0.00025 m
L_1	0.528 m
L_2	0.610 m
L_3	0.457 m

Gambar 4.2 Skema Kompresor *stage* 1

Analisis kesetimbangan energi setiap *stage* kompresor berdasarkan nilai temperatur dan *pressure* yang terdapat pada data *performance test* dan data *comissioning*. Berikut adalah contoh analisis kompresor pada setiap *stage* dengan menggunakan data *performance test* pada bukaan 100 di bulan Desember 2014 :

Tabel 4.2 Data *performance test* pada bukaan 100 di bulan Desember 2014

		°C				KJ/k g	h_{2s}		KJ/kg .K
Bukaan 100, Q=3052 SCFM	T_1	14.44	P_1	1	h_1	288	365.7	s_1	6.827
	T_a	150	P_a	2.3	h_a	424.8		s_a	6.977
	T_b	38	P_b	2	h_b	311.7	412	s_b	6.707
	T_2	160	P_2	5.3	h_2	435		s_2	6.761
	T_d	44	P_d	4.7	h_d	317.7	354.7	s_d	6.481
	T_3	120	P_3	6.9	h_3	394.4		s_3	6.587

Dari data temperatur dan *pressure* tersebut didapat nilai entalpi saat kondisi aktual dan nilai entropi berdasarkan *software Computer- Aided Thermodynamic Table (CATT)* dengan fluida kerja berupa udara. Selain itu didapatkan pula nilai entalpi saat kondisi *isentropic* (h_{2s}) dengan memasukkan nilai entropi $s_1=s_2$ pada tekanan (p_2) pada *software* tersebut.

Kemudian dari data tersebut didapatkan nilai kerja spesifik dan kalor per satuan massa dari setiap *stage* pada kompresor. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan di dalam mencari nilai kerja spesifik dan panas yang dihasilkan pada *stage* 1 kompresor :

- Kerja spesifik kompresor adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{\dot{W}}{\dot{m}} &= -\frac{nR}{n-1} (T_2 - T_1) \\ \frac{\dot{W}}{\dot{m}} &= -\frac{1.4}{1.4-1} \frac{8.314 \text{ kJ}}{28.97 \text{ kg.K}} (150 - 14.44)K \\ \frac{\dot{W}}{\dot{m}} &= -136.164 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

- Kalor per satuan massa kompresor adalah sebagai berikut:

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} + (h_2 - h_1)$$

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = -136.164 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + (424.8 - 288) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = 0.636367 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Setelah itu didapatkan pula nilai efisiensi setiap *stage* pada kompresor dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

- Efisiensi *stage* 1 kompresor

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{\frac{\dot{W}}{\dot{m}}} \rightarrow \eta = \frac{365.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 288 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{136.164 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

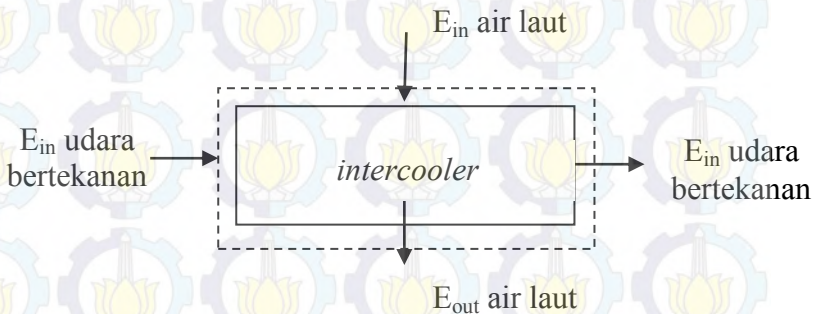
$$\eta = 0.570637$$

Data kerja spesifik, kalor per satuan massa kompresor dan efisiensi kompresor selengkapanya terdapat pada lampiran.

4.2.2. Analisis pada *Intercooler*



Gambar 4.3 Skema *Intercooler* 1 pada sistem



Gambar 4.4 Skema *Intercooler* 1

Analisis kesetimbangan energi pada *intercooler* 1 dan *intercooler* 2 dibagi menjadi 2 bagian yakni pada *fin* dan *tube*. Energi yang diserap oleh *intercooler* adalah panas yang berasal dari fluida kerja berupa udara bertekanan dan berasal dari *discharge* kompresor. Berikut adalah contoh perhitungan kalor yang dikeluarkan oleh udara bertekanan yang terletak di bagian *fin intercooler* 1 pada *performance test* bulan Desember 2014 dengan bukaan 100% :

- $$\dot{Q}_{fin} = \dot{m}(h_b - h_a)$$

$$\dot{Q}_{fin} = \rho Q (h_b - h_a)$$

$$\dot{Q}_{fin} = 0.83425 \frac{kg}{m^3} \times 1.44 \frac{m^3}{s} \times (311.7 - 424.8) \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_{fin} = -135.869 \frac{kJ}{s}$$

Sedangkan nilai kalor yang diterima oleh fluida dingin yang mengalir pada *tube* berdasarkan dengan data temperatur sebagai berikut:

- $$T_{c,in} = 30^{\circ}C$$

$$T_{c,out} = 43^{\circ}C$$

Berdasarkan data temperatur masuk dan keluar fluida air laut diatas maka didapatkan nilai properties air laut yakni :

- $$h_2 = 172.18 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 119.98 \text{ kJ/kg}$$

Kemudian didapatkan nilai kalor yang diterima oleh fluida dingin adalah sebagai berikut :

- $$\dot{Q}_{tube} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{Q}_{tube} = 4.5 \frac{kg}{s} (172.18 - 119.98) \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_{tube} = 234.9 \frac{kJ}{s}$$

4.3 Analisis Perpindahan Panas pada *Intercooler*

Analisis perpindahan panas pada *Intercooler* 1 dan 2 bertujuan untuk mengetahui performa dari *intercooler* tersebut. Adapun data yang digunakan di dalam menganalisis *intercooler* 1

dan 2 didasarkan pada data hasil *performance test* dan *comissioning*. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan di dalam menganalisis *intercooler 1* sesuai dengan data bukaan 100 pada *performance test* bulan Desember 2014 :

1. $T_{h \text{ in}} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2. $T_{h \text{ out}} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$
3. $T_{c \text{ in}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$
4. $T_{c \text{ out}} = 43 \text{ }^{\circ}\text{C}$

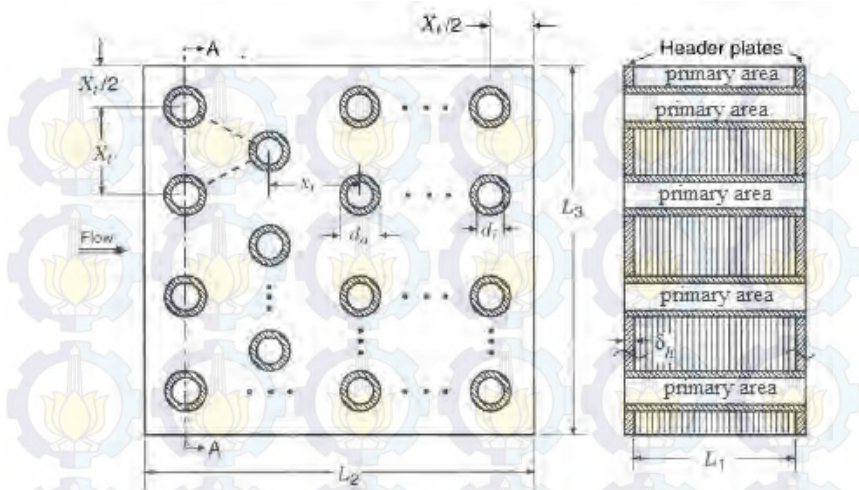
Dari data diatas kemudian dicari dan dihitung *propertiesnya* sehingga didapatkan data sebagai berikut :

- $\rho_{\text{in udara}} = 0.83425 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{\text{out udara}} = 1.13448 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{\text{in air laut}} = 1020.175 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{\text{out air laut}} = 1018.35 \text{ kg/m}^3$
- $\mu_{\text{in udara}} = 2.39 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$
- $\mu_{\text{out udara}} = 1.901 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$
- $\text{Pr udara} = 0.6935$
- $\text{Pr air laut} = 5.0575$
- $k_f \text{ alumunium} = 238.965 \text{ W/m.K}$
- $\text{Cp udara} = 1.015 \text{ kJ/kg.K}$
- $\text{Cp air laut} = 4.005 \text{ kJ/kg.K}$

Kemudian didapatkan luasan total, luasan frontal, dan luasan *minimum free flow area* dari komponen *intercooler* yakni sebagai berikut :

1. Luas Total (A_{total}) dari *intercooler* yakni :

$$A_{\text{total}} = A_p + A_f$$



Gambar 4.5 Area *Primary* dan *Fin* pada komponen *Intercooler*

Luas total dari *intercooler* adalah penjumlahan dari luasan *primary area* (luas *tube* yang tidak dipengaruhi oleh *fin*) dan luas *secondary area* (luas *fin*). Berikut adalah contoh perhitungan di dalam mencari nilai A_p dan A_f :

- *primary surface area*

$$A_p = \pi d_o (L_1 - \delta N_f L_1) N_t + 2 \left(L_2 L_3 - \frac{\pi d_o^2}{4} N_t \right)$$

$$A_p = (3.14 \times (0.15875 \text{ m}) \times (0.528 \text{ m} - (2.5 \times 10^{-4} \text{ m} \times \frac{1164 \text{ m}}{0.528 \text{ m}} \times 0.528 \text{ m})) \times 192$$

$$+ 2 \left((0.610 \times 0.457 \text{ m}) - \frac{3.14 \times (0.015875 \text{ m})^2}{4} \times 192 \right)$$

$$A_p = 2.7498 \text{ m}^2$$

- Luas *fin* (*secondary area*)

$$A_f = \left(L_2 L_3 - \left(\frac{\pi d_o^2}{4} \right) N_t \right) N_f L_1 + (2 L_3 \delta N_f L_1)$$

$$A_f = \left(\begin{aligned} &(0.610 \text{ m} \times 0.457 \text{ m}) \\ &- \left(\left(\frac{3.14 \times (0.015875 \text{ m})^2}{4} \right) \times 192 \text{ unit} \right) \end{aligned} \right)$$

$$\times \left(\frac{1164 \text{ m}}{0.528 \text{ m}} \times 0.528 \text{ m} \right)$$

$$+ (2 \times 0.457 \text{ m} \times 2.5 \times 10^{-4} \text{ m} \times \frac{1164 \text{ m}}{0.528 \text{ m}} \times 0.528 \text{ m})$$

$$A_f = 280.541 \text{ m}^2$$

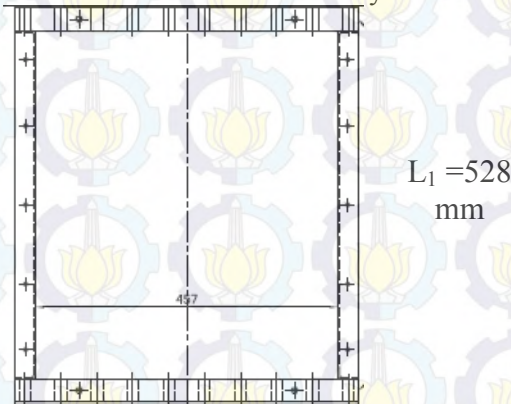
Maka nilai A_{total} adalah sebagai berikut :

- $A_{\text{total}} = A_p + A_f$

$$A_{\text{total}} = 2.7498 \text{ m}^2 + 280.541 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total}} = 283.2909 \text{ m}^2$$

2. Luas Penampang (*cross sectional area*) adalah luas daerah masuknya fluida udara ke dalam *intercooler* yakni :



Gambar 4.6 *Cross Sectional Area* dari *Intercooler*

Luas *Cross Sectional Area* adalah hasil perkalian antara lebar *fin* dan tinggi dari komponen *intercooler* dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

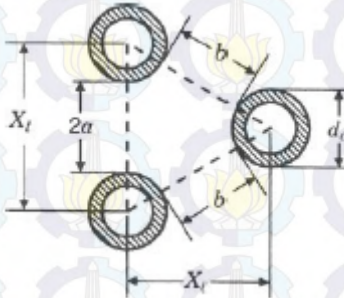
- $A_c = L_1 L_3 \rightarrow A_c = 0.528 \text{ m} \times 0.457 \text{ m}$
 $A_c = 0.241296 \text{ m}^2$

3. Luas *Minumum Free Flow Area* (A_o) merupakan luasan daerah celah-celah antara sisi-sisi *fin* dan *tube* dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$A_o = \left(\left(\frac{L_3}{P_t} - 1 \right) c'' + (P_t - d_o) - ((P_t - d_o) \delta N_f) \right) L_1$$

Nilai c'' adalah :

- $c'' = 2a''$ jika $2a'' < 2b''$
- $c'' = 2b''$ jika $2b'' < 2a''$



Gambar 4.7 Susunan *Tube Staggered*

Kemudian didapatkan nilai $2a''$ dan $2b''$ adalah sebagai berikut :

- $2a'' = (P_t - d_o) - ((P_t - d_o) \delta N_f)$
 $2a'' = (0.0381 \text{ m} - 0.015875 \text{ m}) - ((0.0381 \text{ m} - 0.015875 \text{ m}) \times (2.5 \times 10^{-4} \text{ m} \times \frac{1164 \text{ m}}{0.528 \text{ m}}))$
 $2a'' = 9.975994 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad 2b'' &= \left(\left(\frac{P_t}{2} \right)^2 + P_l^2 \right)^{\frac{1}{2}} - d_o - (P_t - d_o) \delta N_f \\
 2b'' &= 2 \left(\left(\frac{0.0381 \text{ m}}{2} \right)^2 + (0.033 \text{ m})^2 \right)^{\frac{1}{2}} - 0.015875 - \\
 &\quad (0.0381 - 0.015875 \text{ m}) \times 2.5 \times 10^{-4} \text{ m} \times \frac{1164 \text{ m}}{0.528 \text{ m}} \\
 2b'' &= 2 \times 0.009979833 \text{ m} \\
 2b'' &= 1.9959665 \times 10^{-2} \text{ m}
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai c'' maka didapatkan luas *minimum free flow area* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad A_o &= \left(\left(\frac{0.457 \text{ m}}{0.0381 \text{ m}} - 1 \right) \times 9.975994 \times 10^{-3} + \right. \\
 &\quad \left. (0.0381 \text{ m} - 0.015875 \text{ m}) - \right. \\
 &\quad \left. \left((0.0381 \text{ m} - 0.015875 \text{ m}) \times 2.5 \times 10^{-4} \times \frac{1164 \text{ m}}{0.528 \text{ m}} \right) \right) \times 0.528 \text{ m} \\
 A_o &= 0.06318 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

4. Luas Frontal adalah luas daerah yang tertabrak oleh fluida udara bertekanan. Luas frontal ini merupakan selisih antara luas *cross sectional area* dan luasan *minimum free flow area*, sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad A_{fr} &= A_c - A_o \rightarrow A_{fr} = 0.241296 \text{ m}^2 - 0.06318 \text{ m}^2 \\
 A_{fr} &= 0.17811575 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Kemudian setelah didapatkan nilai A_{total} , A_c , A_o dan A_{fr} maka dilanjutkan dengan mencari nilai Diameter hidrolis, nilai σ , dan nilai *mass flux* (G) yang terjadi pada sisi udara bertekanan. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan di dalam mencari nilai-nilai tersebut :

1. Diameter Hidrolis

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad D_h &= \frac{4A_c L_2}{A} \\
 D_h &= \frac{4 \times 0.241296 \text{ m}^2 \times 0.61 \text{ m}}{283.2909 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

$$D_h = 2.078 \times 10^{-3} \text{ m}$$

2. Nilai σ adalah perbandingan antara nilai *minimum free flow area* dan luas total dari komponen *intercooler* dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \bullet \quad \sigma &= \frac{A_0}{A_{fr}} \\ &= \frac{0.069084455 \text{ m}^2}{0.241296 \text{ m}^2} \\ \sigma &= 0.3547 \end{aligned}$$

3. Nilai *Mass Flux* (G)

$$\begin{aligned} \bullet \quad G &= \frac{\rho v}{\sigma} \\ &= \frac{0.83425 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1.26 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.3547} \\ G &= 2.963 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai Reynolds, *Nusselt*, nilai *coefficient* konveksi dan nilai *friction factor* pada sisi fluida udara dan fluida air laut dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung Nilai Reynolds

Nilai Reynolds terbagi menjadi 2 yakni :

- a. Nilai Reynolds pada sisi udara bertekanan (fluida panas) yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \bullet \quad \text{Re}_{D \text{ udara}} &= \frac{GD_h}{\mu} \\ \text{Re}_D &= \frac{3.6714 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \times 2.0781 \times 10^{-3} \text{ m}}{2.39 \times 10^{-5}} \end{aligned}$$

$$\text{Re}_D = 257.689$$

- b. Nilai Reynolds pada sisi air laut (fluida dingin) yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\bullet \quad \text{Re}_{D \text{ air laut}} = \frac{v D}{\eta}$$

$$Re_{D \text{ air laut}} = \frac{2.33 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.013395 \text{ m}}{0.0000206 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Re_{D \text{ air laut}} = 1515.065534$$

Nilai *Reynolds number* diatas menunjukkan bahwa Re_D udara dan Re_D air laut termasuk aliran laminar karena nilai $Re < 2300$.

2. Nilai Nusselt diperoleh berdasarkan dengan nilai *Reynolds* pada sisi udara dan sisi air laut. Berdasarkan nilai *Reynolds* tersebut diketahui bahwa aliran fluida adalah laminar sehingga nilai nusseltnya adalah sebagai berikut:

- $Nu_{D \text{ udara}} = 7.54$
- $Nu_{D \text{ air laut}} = 3.66$

3. Nilai *coefficient* konveksi (h) dibagi menjadi 2 yakni pada bagian fluida udara dan pada bagian fluida air laut

- Nilai *coefficient* konveksi (h) untuk fluida udara diperoleh sebagai berikut :

$$h = \frac{j \text{ Cp G}}{Pr^{\frac{2}{3}}}$$

Kemudian didapatkan nilai *colburn factor* sesuai persamaan berikut :

- Mencari bilangan *Colburn* (j)

$$j = \frac{Nu_{ud} Pr^{-\frac{1}{3}}}{Re_{D \text{ udara}}} \rightarrow j = \frac{7.54(0.6935)^{-\frac{1}{3}}}{257.689}$$

$$j = 3.3 \times 10^{-2}$$

Sehingga nilai *coefficient* konveksi (h) untuk fluida sisi udara adalah sebagai berikut :

- Nilai *coefficient* konveksi (h) :

$$h = \frac{j \text{ Cp } G}{\text{Pr}^{\frac{2}{3}}}$$

$$h = \frac{3.3 \times 10^{-2} \times 1015 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 2.963 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{(0.6935)^{\frac{2}{3}}}$$

$$h = 126.905 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

- Nilai *coefficient* konveksi (h) untuk fluida air laut diperoleh dengan persamaan berikut :

$$h = \frac{\text{Nu}_d k}{D_i} \rightarrow h = \frac{3.66 \times 0.622 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{0.013395 \text{ m}}$$

$$h = 167.317 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

4. Nilai *friction factor* (f) berfungsi di dalam menghitung nilai *pressure drop* pada sisi fluida udara dan fluida air laut. Berdasarkan perhitungan nilai Reynolds didapatkan bahwa kedua aliran yang mengalir pada sisi *intercooler* adalah aliran laminar, sehingga nilai *friction factor* (f) untuk aliran laminar dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Nilai *friction factor* (f) untuk fluida udara dengan sisi *fin* berbentuk *noncircular* adalah sebagai berikut :

$$f = \frac{96}{\text{Re}_{\text{D udara}}} \rightarrow f = \frac{96}{257.689} \rightarrow f = 0.37254$$

- Nilai *friction factor* (f) untuk fluida air laut dengan sisi *tube* berbentuk *circular* adalah

$$f = \frac{64}{\text{Re}_{\text{D air laut}}} \rightarrow f = \frac{64}{1515.065534} \rightarrow f = 4.224 \times 10^{-2}$$

Kemudian didapatkan pula nilai efisiensi η_f berdasarkan persamaan berikut :

$$\eta_f = \frac{\tanh(mL_C)}{(mL_C)}$$

Nilai m didapatkan berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

- Nilai m

$$m = \frac{(2h)^{\frac{1}{2}}}{k_f \delta} \rightarrow m = \frac{\left(2 \times 126.905 \frac{W}{m^2 \cdot K}\right)^{\frac{1}{2}}}{238.965 \frac{W}{m \cdot K} \times 0.00025 m}$$

$$m = 65.180 \frac{1}{m^2}$$

Maka nilai efisiensi η_f adalah

- Efisiensi η_f

$$\eta_f = \frac{\tanh(mL_C)}{(mL_C)}$$

$$\eta_f = \frac{\tanh\left(65.180 \frac{1}{m^2} \times 0.021066 m\right)}{\left(65.180 \frac{1}{m^2} \times 0.021066 m\right)}$$

$$\eta_f = 0.640$$

Setelah itu didapatkan pula nilai *Overall heat transfer coefficient* (U) berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{oh_{udara}}} + \frac{R_{f,c}}{\eta_o} + R_w + \frac{R_{f,h}}{\eta_o} + \frac{1}{\eta_{oh_{air laut}}}}$$

Berdasarkan persamaan diatas maka nilai *overall efisiensi* dan *wall resistance* dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Menghitung *overall efisiensi* (η_o)

$$\eta_o = 1 - \frac{A_f}{A} (1 - \eta_f)$$

$$\eta_o = 1 - \frac{280.5411166 m^2}{283.2909497 m^2} (1 - 0.640)$$

$$\eta_o = 0.6439$$

- Menghitung *wall resistance* (R_w)

$$R_w = \frac{L_2}{k_f L_1 L_3}$$

$$R_w = \frac{0.610 \text{ m}}{238.965 \frac{W}{m \cdot K} \times 0.528 \text{ m} \times 0.457 \text{ m}}$$

$$R_w = 0.0105790 \frac{W}{K}$$

Sehingga didapatkan nilai *Overall heat transfer coefficient* (U) adalah sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{oh\text{udara}}} + \frac{R_{f,c}}{\eta_o} + R_w + \frac{R_{f,h}}{\eta_o} + \frac{1}{\eta_{oh\text{air laut}}}}$$

$$U = 30.276 \frac{W}{m^2 K}$$

Kemudian dihitung pula nilai C_{fin} dan C_{tube} antara kedua fluida diatas yakni sebagai berikut :

- $C_{fin} = \dot{m} C_p \text{ udara} \rightarrow C_{fin} = \rho Q C_p \text{ udara}$

$$C_{fin} = 0.83425 \frac{kg}{m^3} \times 1.44 \frac{m^3}{s} \times 1013 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$C_{fin} = 1219.3398 \frac{J}{s \cdot K}$$

- $C_{tube} = \dot{m} C_p \text{ air laut} \rightarrow C_{tube} = 4.5 \frac{kg}{s} \times 4005 \frac{J}{kg \cdot K}$

$$C_{tube} = 18022.5 \frac{J}{s \cdot K}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa nilai $C_{minimum}$ adalah $C_{fin} = 1219.3398 \frac{J}{s \cdot K}$ dan $C_{maksimum}$ adalah $C_{tube} = 18022.5 \frac{J}{s \cdot K}$.

Nilai *NTU*, *Effectiveness* (ϵ), dan *Pressure Drop* (Δp) yang berfungsi sebagai nilai indikator performa dari *intercooler* didapatkan sebagai berikut :

1. Nilai *NTU* :

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}} \rightarrow NTU = \frac{30.276 \frac{W}{m^2 K} \times 283.2909 m^2}{1219.3398 \frac{J}{s \cdot K}}$$

$$NTU = 7.034$$

2. Nilai *Effectiveness* (ϵ) didapatkan dari perbandingan antara kalor yang dikeluarkan oleh fluida udara secara aktual terhadap kalor maksimal yang dihasilkan oleh komponen *intercooler*. Nilai *Effectiveness* (ϵ) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{q}{q_{\max}}$$

Kemudian nilai q_{\max} dapat dinyatakan sebagai berikut :

- $$q_{\max} = C_{\min}(T_{h,i} - T_{c,i})$$

$$q_{\max} = 1219.3398 \frac{J}{s \cdot K} (150 - 30) K$$

$$q_{\max} = 146.320776 \frac{kJ}{s}$$

Maka Nilai *Effectiveness* (ϵ) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}_{\text{fin}}}{q_{\max}} \rightarrow \epsilon = \frac{135.869 \frac{kJ}{s}}{146.320776 \frac{kJ}{s}} \rightarrow \epsilon = 0.9286$$

3. Nilai *Pressure Drop* (Δp) dibagi menjadi 2 yakni :

- Pressure Drop* (Δp) pada sisi *fin*

$$\Delta p = \frac{G^2}{2\rho_i} \left(f \frac{A_t}{A_{\min}} \frac{\rho_i}{\rho} + (1 + \sigma^2) \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1 \right) \right)$$

$$\Delta p = 7626.843 \frac{N}{m^2}$$

$$\Delta p = 0.077 \frac{kgf}{cm^2}$$

- *Pressure Drop* (Δp) pada sisi *tube*

$$\Delta p = f \frac{L}{d_i} \frac{\rho v^2}{2}$$

$$= 4.224 \times 10^{-2} \times \frac{0.528 \text{ m}}{0.013395 \text{ m}} \times \frac{1020.175 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (2.33 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2}$$

$$\Delta p = 4611.0123 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta p = 0.047019 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Untuk data dan perhitungan lain di dalam analisis *intercooler* secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.

4.4 Analisis Daya Motor

Analisis perhitungan daya motor untuk kompresor 35-K-1A didapatkan dengan persamaan :

$$P_{motor} = AV\sqrt{3} \cos \phi$$

Adapun contoh perhitungan diambil dari data kompresor bukaan 100 pada *performance test* bulan Desember 2014 dengan data sebagai berikut :

- $P_{motor} = AV\sqrt{3} \cos \phi$

$$P_{motor} = \frac{88.3 \text{ A} \times 4000 \text{ V} \times 1.73 \times 0.85}{1000}$$

$$P_{motor} = 519.3806 \text{ kWatt}$$

Untuk data daya motor pada setiap *performance test* secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.

4.5 Pembahasan

4.5.1 Grafik Efisiensi Per Stage Kompresor Terhadap Bukaan

Berikut adalah data efisiensi per *stage* kompresor terhadap bukaan hasil data *commissioning*, *performance test* bulan Desember 2014, *performance test* bulan Januari 2015 dan *performance test* bulan April 2015:

Tabel 4.3 Data Efisiensi per *Stage* Kompresor Terhadap Bukaannya pada Data *Commissioning*

Bukaan (%)	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	η stage 1	η stage 2	η stage 3
100	1.415842	2.532446	0.719067	0.72369	0.730818

Tabel 4.4 Data Efisiensi per *Stage* Kompresor Terhadap Bukaannya pada Data Bulan Desember 2014

Bukaan (%)	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	η stage 1	η stage 2	η stage 3
100	1.440384	1.77038	0.569455	0.81819	0.483017
80	1.429529	1.757038	0.569455	0.827411	0.484747
70	1.409707	1.732675	0.569455	0.762152	0.477381
65	1.388469	1.706572	0.569455	0.779876	0.477381
60	1.372423	1.686849	0.593951	0.779876	0.486786
55	1.316733	1.618401	0.593951	0.842898	0.539492
50	1.23839	1.522109	0.593951	0.860359	0.553959
45	1.156271	1.421176	0.593951	0.831786	0.592377

Tabel 4.5 Data Efisiensi per *Stage* Kompresor Terhadap Bukaannya pada Data Bulan Januari 2015

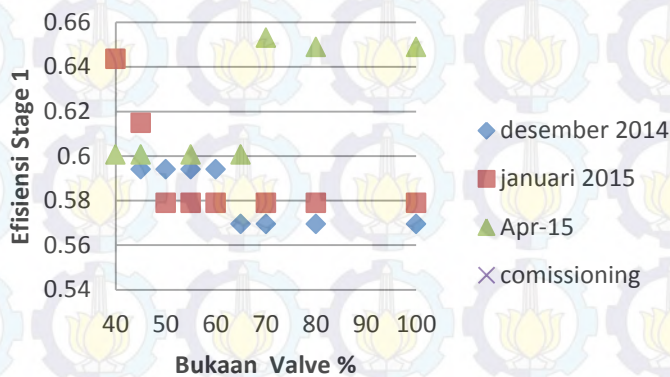
Bukaan (%)	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	η stage 1	η stage 2	η stage 3
100	1.43944	1.76922	0.5789	0.641413	0.505814
80	1.43472	1.763419	0.5789	0.641413	0.505814
70	1.409707	1.732675	0.5789	0.64404	0.522967
60	1.359209	1.670607	0.5789	0.64404	0.567843
55	1.31343	1.61434	0.5789	0.686576	0.560634
50	1.254436	1.541831	0.5789	0.707844	0.567184
45	1.16571	1.432778	0.614808	0.743394	0.605714
40	1.118515	1.374771	0.643534	0.762143	0.611271

Tabel 4.6 Data Efisiensi per *Stage* Kompresor Terhadap Bukaannya pada Data Bulan April 2015

Bukaan (%)	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	η stage 1	η stage 2	η stage 3
100	1.609813	1.974645	0.648862	0.542739	0.606601
80	1.557427	1.910386	0.648862	0.55653	0.627932
70	1.510232	1.852496	0.653088	0.53932	0.683099
65	1.476252	1.810815	0.60061	0.593812	0.644179
55	1.413483	1.73382	0.60061	0.61102	0.685212
45	1.287001	1.578674	0.60061	0.61102	0.643154
40	1.261987	1.547992	0.60061	0.678162	0.652249

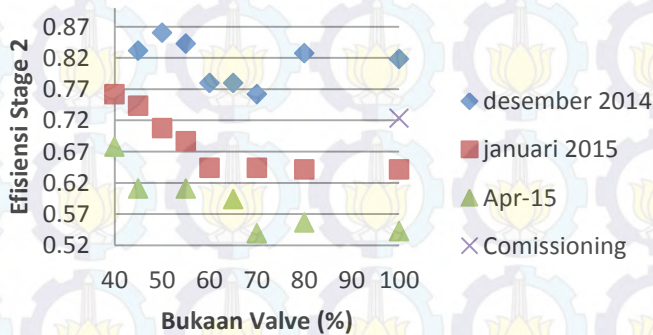
Berdasarkan data diatas maka dibuat grafik efisiensi per *stage* terhadap bukaan sebagai berikut :

Efisiensi Stage 1 Vs Buka



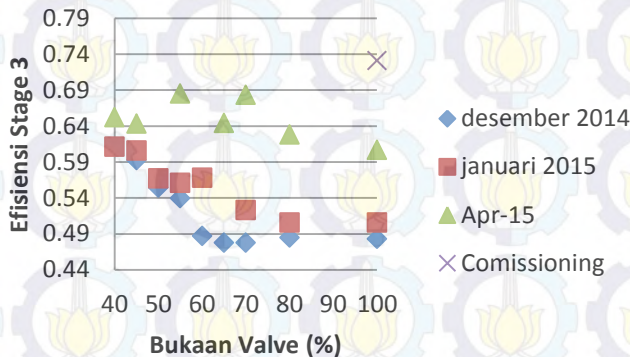
(a)

Efisiensi Stage 2 Vs Buka



(b)

Efisiensi Stage 3 Vs Buka



(c)

Gambar 4.8 (a) Grafik Buka terhadap Efisiensi Kompresor Stage 1, (b) Grafik Buka terhadap Efisiensi Kompresor Stage 2, dan (c) Grafik Buka terhadap Efisiensi Kompresor Stage 3

Efisiensi per *stage* pada kompresor merupakan salah satu indikator untuk mengetahui kinerja dari kompresor tersebut. Perbandingan grafik efisiensi terhadap bukaan (*flow*) pada *performance test* bulan Desember 2014 hingga April 2015 terdiri dari bukaan *valve* 40-100 %, sedangkan pada hasil *commissioning* hanya terdiri dari bukaan *valve* 100 %. Berdasarkan kondisi operasi kompresor 35-K-1A pada *performance test* bulan Desember 2014 hingga April 2015 didapatkan nilai efisiensi per *stage* kompresor yang menurun seiring bertambah besarnya bukaan *valve*. Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa nilai efisiensi *stage* 1 pada hasil *commissioning* mencapai 0.719, efisiensi *stage* 2 mencapai 0.724 dan efisiensi *stage* 3 mencapai 0.731. Kemudian berdasarkan hasil *performance test* bulan Desember 2014 didapatkan nilai efisiensi maksimum *stage* 1 mencapai 0.5939 pada bukaan *valve* 45-60 % dan nilai efisiensi minimum 0.569455 pada bukaan 65-100 %. Kemudian nilai

efisiensi *stage 2* mencapai nilai maksimum sebesar 0.860 pada bukaan 50 % dan efisiensi minimum mencapai 0.762 pada bukaan *valve* 70%, sedangkan efisiensi maksimum *stage 3* mencapai 0.592 pada bukaan *valve* 45% serta efisiensi minimum mencapai 0.477 pada bukaan *valve* 65-70%. Berdasarkan grafik efisiensi per *stage* pada bulan Desember 2014 didapatkan nilai efisiensi *stage 1* dan *stage 3* pada bukaan 100 % terletak dibawah nilai efisiensi per *stage* pada hasil data *commissioning*, sedangkan efisiensi *stage 2* terletak diatas data *comissioning*. Berdasarkan hasil *performance test* bulan Januari 2015 didapatkan nilai efisiensi maksimum *stage 1* mencapai 0.643 pada bukaan *valve* 40 % dan nilai efisiensi minimum mencapai 0.579 pada bukaan *valve* 50-100 %. Kemudian nilai efisiensi maksimum *stage 2* mencapai 0.762 pada bukaan 40 % dan efisiensi minimum mencapai 0.633 pada bukaan 80-100 %, sedangkan nilai efisiensi maksimum *stage 3* mencapai 0.611 pada bukaan 40% serta nilai efisiensi minimum mencapai 0.504 pada bukaan 80-100%. Kemudian berdasarkan hasil *performance test* bulan April 2015 didapatkan nilai efisiensi maksimum *stage 1* mencapai 0.655 pada bukaan 70 % dan nilai efisiensi minimum mencapai 0.6023 pada bukaan 40-65 %. Kemudian nilai efisiensi maksimum *stage 2* mencapai 0.662 pada bukaan 40 % dan efisiensi minimum mencapai 0.521 pada bukaan 70 %, sedangkan nilai efisiensi maksimum *stage 3* mencapai 0.684 pada bukaan 70% serta nilai efisiensi minimum mencapai 0.6088 pada bukaan 100%. Berdasarkan grafik efisiensi per *stage* terhadap bukaan pada bulan Januari dan April 2015 didapatkan nilai efisiensi *stage 1* hingga *stage 3* berada dibawah nilai hasil data *commissioning*.

Namun pada kenyataannya nilai efisiensi *stage 1*, *stage 2*, dan *stage 3* mengalami fluktuasi seiring pengaturan bukaan *valve* yang dijalankan. Pada bulan Desember 2014 dan Januari 2015 didapatkan nilai efisiensi *stage 1*, *stage 2* dan *stage 3* yang semakin menurun seiring bukaan yang semakin besar. Pada bulan April 2015 didapatkan nilai efisiensi terbesar pada *stage 1* dengan

bukaan (100 %), efisiensi *stage* 2 terbesar terdapat pada bukaan 40 %, dan efisiensi *stage* 3 terbesar pada bukaan 70 %.

Nilai efisiensi pada kompresor merupakan perbandingan antara jumlah kerja spesifik secara isentropik dengan kerja spesifik secara aktual sesuai dengan persamaan 2.7. Oleh sebab itu nilai efisiensi per *stage* kompresor akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya bukaan (*flow*) yang masuk pada kompresor. Hal ini disebabkan oleh adanya kerak yang terdapat pada pipa inlet udara masuk pada kompresor dan juga akibat kondisi valve yang tidak sesuai dengan spesifikasi.

4.5.2 Grafik *Effectiveness Intercooler* Terhadap Bukaan

Berikut adalah data *effectiveness intercooler* 1 dan 2 terhadap bukaan berdasarkan hasil data *commissioning*, *performance test* bulan Desember 2014, *performance test* bulan Januari 2015 dan *performance test* bulan April 2015:

Tabel 4.7 Data *Effectiveness Intercooler* Terhadap Bukaan pada Data *Comissioning*

Hasil <i>Comissioning</i>			
Bukaan (%)	Q (m ³ /min)	$\mathcal{E}_{\text{intercooler 1}}$	$\mathcal{E}_{\text{intercooler 2}}$
100	84,95	0.971693997	0.967915245

Tabel 4.8 Data *Effectiveness Intercooler* Terhadap Bukaannya pada Data Bulan Desember 2014

Hasil Bulan Desember 2014			
Bukaan (%)	Q (m ³ /min)	$\varepsilon_{\text{intercooler 1}}$	$\varepsilon_{\text{intercooler 2}}$
100	86.42	0.928571429	0.88722487
80	85.77	0.920361248	0.879661145
70	84.58	0.912151067	0.872097421
65	83.31	0.912151067	0.872097421
60	82.35	0.913348946	0.872097421
55	79	0.913348946	0.872097421
50	74.3	0.913348946	0.872097421
45	69.38	0.913348946	0.872097421

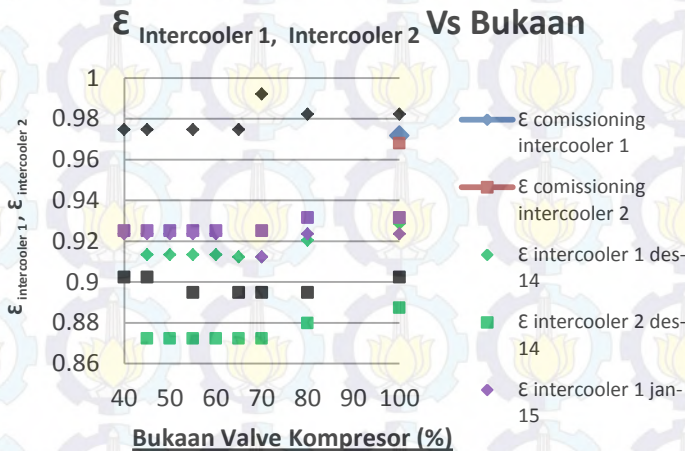
Tabel 4.9 Data *Effectiveness Intercooler* Terhadap Bukaannya pada Data Bulan Januari 2015

Hasil Bulan Januari 2015			
Bukaan (%)	Q (m ³ /min)	$\varepsilon_{\text{intercooler 1}}$	$\varepsilon_{\text{intercooler 2}}$
100	86.37	0.923449699	0.931505165
80	86.08	0.923449699	0.931505165
70	84.58	0.912151067	0.925043491
60	81.55	0.923449699	0.925043491
55	78.81	0.923449699	0.925043491
50	75.27	0.923449699	0.925043491
45	69.94	0.923449699	0.925043491
40	67.11	0.923449699	0.925043491

Tabel 4.10 Data *Effectiveness Intercooler* Terhadap Bukaannya pada Data Bulan April 2015

Hasil Bulan April 2015			
Bukaan (%)	Q (m ³ /min)	$\epsilon_{\text{intercooler 1}}$	$\epsilon_{\text{intercooler 2}}$
100	94.15	0.982230997	0.902352318
80	93.45	0.982230997	0.894788594
70	90.61	0.992102665	0.894788594
65	88.58	0.97460289	0.894788594
55	84.81	0.97460289	0.894788594
45	77.22	0.97460289	0.902352318
40	75.72	0.97460289	0.902352318

Berdasarkan data diatas maka dibuat *effectiveness intercooler 1* dan 2 terhadap bukaan sebagai berikut :



Gambar 4.9 Grafik Bukaannya Terhadap *Effectiveness Intercooler*

Effectiveness adalah salah satu indikator yang menunjukkan performa dari *intercooler*. Berdasarkan grafik *effectiveness* terhadap bukaan pada data *performance test* bulan Desember 2014 hingga April 2015 dapat diketahui bahwa nilai *effectiveness intercooler* 1 lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *effectiveness intercooler* 2. Pada bulan Desember 2014 nilai *effectiveness intercooler* 1 konstan dengan nilai 0.91 untuk bukaan (45-70 %), kemudian meningkat hingga mencapai 0.93 pada bukaan 100 %, sedangkan nilai *effectiveness intercooler* 2 konstan dengan nilai 0.872 pada bukaan 45-70 % dan kemudian naik hingga mencapai 0.887 pada bukaan 100%. Pada bulan Januari 2015 nilai *effectiveness intercooler* 1 berada konstan dengan nilai 0.923 pada bukaan (40-100%) sedangkan nilai *effectiveness intercooler* 2 mencapai nilai 0.925 pada bukaan (40-70%) dan kemudian naik hingga mencapai 0.93 pada bukaan (80-100 %). Nilai *effectiveness intercooler* 1 dan 2 pada bulan Desember 2014 dan Januari 2015 terletak dibawah nilai *effectiveness* pada saat *commissioning* yakni 0.97. Kemudian pada bulan April 2015 didapatkan nilai *effectiveness intercooler* 1 terletak diatas hasil *commissioning* dan mencapai 0.992 pada bukaan 70%, sedangkan *effectiveness intercooler* 2 terletak pada nilai 0.89-0.902 pada bukaan 40-100%.

Nilai *effectiveness* pada *intercooler* 1 dan 2 seharusnya memiliki nilai yang hampir sama karena kedua komponen tersebut memiliki spesifikasi sama. Namun pada kenyataannya nilai *effectiveness intercooler* mengalami fluktuasi. Berdasarkan grafik diatas nilai *effectiveness intercooler* 2 terletak dibawah nilai *effectiveness intercooler* 1. Hal ini mengindikasikan bahwa *intercooler* 2 mengalami permasalahan sehingga nilai *effectiveness intercooler* 2 terletak dibawah *intercooler* 1. Hal ini mengindikasikan bahwa performa *intercooler* 2 kurang baik sehingga temperatur udara sebelum masuk pada *suction* kompresor *stage* 3 menjadi tinggi. Hal ini berdampak terhadap *flow* dan *pressure* yang masuk pada kompresor *stage* 3 menjadi berkurang sehingga performa kompresor.

4.5.3 Grafik *Pressure Drop* (ΔP) *Intercooler* Terhadap Bukaannya

Berikut adalah data *pressure drop intercooler* 1 dan 2 terhadap bukaan berdasarkan hasil data *commissioning*, *performance test* bulan Desember 2014, *performance test* bulan Januari 2015 dan *performance test* bulan April 2015:

Tabel 4.11 Data *Pressure Drop Intercooler* Terhadap Bukaannya pada Data *Commissioning*

Hasil <i>Commissioning</i>			
Bukaan (%)	Q (m ³ /min)	$\Delta P_{\text{intercooler 1}}$ (kgf/cm ²)	$\Delta P_{\text{intercooler 2}}$ (kgf/cm ²)
100	84,95	0.071	0.075

Tabel 4.12 Data *Pressure Drop Intercooler* Terhadap Bukaannya pada Data Bulan Desember 2014

Hasil Bulan Desember 2014			
Bukaan (%)	Q (m ³ /min)	$\Delta P_{\text{intercooler 1}}$ (kgf/cm ²)	$\Delta P_{\text{intercooler 2}}$ (kgf/cm ²)
100	86.42	0.07777216	0.07892498
80	85.77	0.07800007	0.07902611
70	84.58	0.07800007	0.07902611
65	83.31	0.07800007	0.07902611
60	82.35	0.07815656	0.07902611
55	79	0.07815656	0.07902611
50	74.3	0.07815656	0.07902611
45	69.38	0.07815656	0.07902611

Tabel 4.13 Data *Pressure Drop Intercooler* Terhadap Bukaannya pada Data Bulan Januari 2015

Hasil Bulan Januari 2015			
Bukaan (%)	Q (m ³ /min)	$\Delta P_{\text{intercooler 1}}$ (kgf/cm ²)	$\Delta P_{\text{intercooler 2}}$ (kgf/cm ²)
100	86.37	0.07580183	0.0770491
80	86.08	0.07580183	0.0770491
70	84.58	0.07688072	0.07852646
60	81.55	0.07688072	0.07852646
55	78.81	0.07688072	0.07852646
50	75.27	0.07688072	0.07852646
45	69.94	0.07688072	0.07852646
40	67.11	0.07688072	0.07852646

Tabel 4.14 Data *Pressure Drop Intercooler* Terhadap Bukaannya pada Data Bulan April 2015

Hasil Bulan April 2015			
Bukaan (%)	Q (m ³ /min)	$\Delta P_{\text{intercooler 1}}$ (kgf/cm ²)	$\Delta P_{\text{intercooler 2}}$ (kgf/cm ²)
100	94.15	0.07532548	0.07902611
80	93.45	0.07532548	0.07902611
70	90.61	0.07532548	0.07902611
65	88.58	0.07438131	0.07902611
55	84.81	0.07438131	0.07902611
45	77.22	0.07438131	0.07902611
40	75.72	0.07438131	0.07902611

Berdasarkan data diatas maka dibuat *pressure drop intercooler* 1 dan 2 terhadap bukaan sebagai berikut :

Penurunan Tekanan (*Pressure drop*) yang semakin tinggi merupakan salah satu indikator suatu komponen *heat exchanger* mengalami permasalahan. Pada umumnya terdapat nilai *pressure drop* yang diijinkan oleh perusahaan pembuat komponen *heat exchanger*. Pada komponen ini *pressure drop* yang diijinkan adalah 0.075 kgf/cm^2 . Pada bulan Desember 2014 didapatkan nilai *pressure drop* pada *intercooler* 1 terletak antara $0.077\text{-}0.0782 \text{ kgf/cm}^2$, sedangkan nilai *pressure drop* pada *intercooler* 2 terletak pada 0.0790 kgf/cm^2 . Kemudian pada bulan Januari 2015 didapatkan nilai *pressure drop intercooler* 1 terletak antara $0.0758\text{-}0.07688 \text{ kgf/cm}^2$, sedangkan nilai *pressure drop* pada *intercooler* 2 terletak antara nilai $0.077\text{-}0.0785 \text{ kgf/cm}^2$. Pada bulan April 2015 didapatkan nilai *pressure drop intercooler* 1

Penurunan Tekanan (*Pressure drop*) yang semakin tinggi merupakan salah satu indikator suatu komponen *heat exchanger* mengalami permasalahan. Pada umumnya terdapat nilai *pressure drop* yang diijinkan oleh perusahaan pembuat komponen *heat exchanger*. Pada komponen ini *pressure drop* yang diijinkan adalah 0.075 kgf/cm^2 . Pada bulan Desember 2014 didapatkan nilai *pressure drop* pada *intercooler* 1 terletak antara $0.077\text{--}0.0782 \text{ kgf/cm}^2$, sedangkan nilai *pressure drop* pada *intercooler* 2 terletak pada 0.0790 kgf/cm^2 . Kemudian pada bulan Januari 2015 didapatkan nilai *pressure drop intercooler* 1 terletak antara $0.0758\text{--}0.07688 \text{ kgf/cm}^2$, sedangkan nilai *pressure drop* pada *intercooler* 2 terletak antara nilai $0.077\text{--}0.0785 \text{ kgf/cm}^2$. Pada bulan April 2015 didapatkan nilai *pressure drop intercooler* 1

terletak antara 0.0743-0.0753 kgf/cm², sedangkan nilai *pressure drop intercooler* 2 terletak pada nilai 0.0790 kgf/cm². Nilai *pressure drop* pada *intercooler* 1 dan 2 pada *performance test* bulan Desember 2014 hingga April 2015 terletak dibawah nilai *commissioning* yakni 0.071 pada *intercooler* 1 dan 0.075 pada *intercooler* 2.

Berdasarkan grafik diatas didapatkan bahwa semakin besarnya nilai *pressure drop* yang terjadi pada *intercooler* 1 dan 2 mengindikasikan bahwa *intercooler* mengalami permasalahan. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa *intercooler* mengalami *low performance*.

4.5.4 Grafik $P_{\text{motor}}/\Delta p$, $P_{\text{motor}}/\Delta T$ terhadap Bukaannya

Berikut adalah data $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ terhadap bukaannya berdasarkan hasil data *commissioning*, *performance test* bulan Desember 2014, *performance test* bulan Januari 2015 dan *performance test* bulan April 2015:

Tabel 4.15 Data $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ Terhadap Bukaannya pada Data *Commissioning*

Hasil Data <i>Commissioning</i>				
Bukaan	Q (m ³ /min)	Pmotor	Pmotor/ ΔP	Pmotor/ ΔT
100	84.95	538.32	59.97	4.87

Tabel 4.16 Data $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ Terhadap Bukaannya pada Data Bulan Desember 2014

Hasil Bulan Desember 2014				
Bukaan	Q (m ³ /min)	Pmotor	Pmotor/ ΔP	Pmotor/ ΔT
100	86.42	570.65	96.72	5.41
80	85.77	533.03	88.84	4.87
70	84.58	530.03	86.89	4.79
65	83.31	527.79	86.52	4.77
60	82.35	515.09	81.76	4.66
55	79	515.09	78.04	4.66
50	74.3	505.85	72.26	4.57
45	69.38	492.44	66.55	4.45

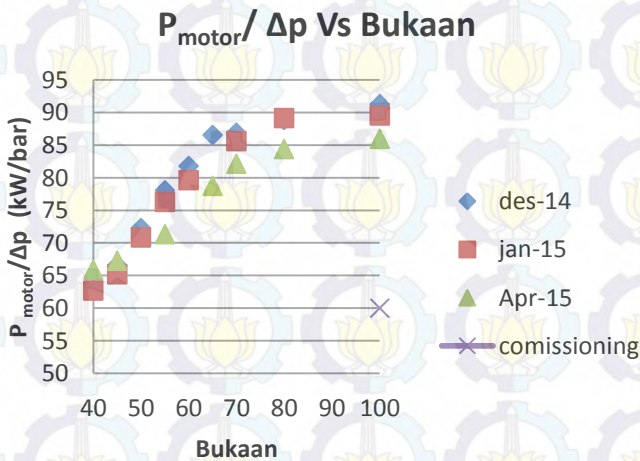
Tabel 4.17 Data $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ Terhadap Bukaannya pada Data Bulan Januari 2015

Hasil Bulan Januari 2015				
Bukaan	Q (m ³ /min)	Pmotor	Pmotor/ ΔP	Pmotor/ ΔT
100	86.37	519.38	89.55	5.16
80	86.08	517.03	89.14	5.14
70	84.58	513.50	85.58	5.11
60	81.55	509.38	79.59	5.07
55	78.81	503.50	76.29	4.91
50	75.27	495.85	70.84	4.79
45	69.94	482.32	65.18	4.66
40	67.11	476.44	62.69	4.60

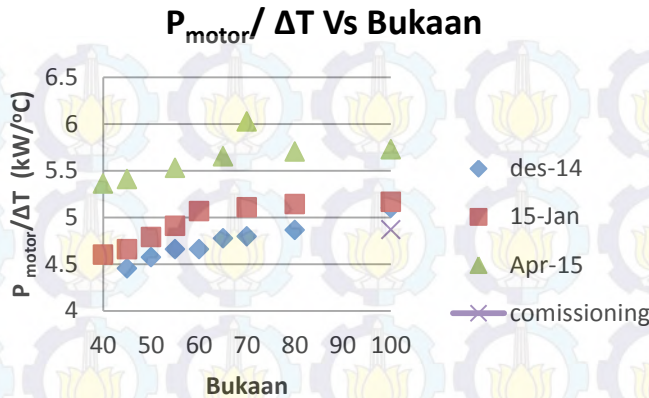
Tabel 4.18 Data $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ Terhadap Bukaannya pada Data Bulan April 2015

Hasil Bulan April 2015				
Bukaan	Q (m ³ /min)	P _{motor}	P _{motor} /ΔP	P _{motor} /ΔT
100	94.15	601.49	85.93	5.73
80	93.45	598.96	84.36	5.70
70	90.61	599.38	82.11	6.03
65	88.58	590.32	78.71	5.65
55	84.81	577.61	71.31	5.53
45	77.22	565.02	67.26	5.41
40	75.72	559.73	65.85	5.36

Berdasarkan data diatas maka nilai terhadap bukaan sebagai berikut :



(a)



(b)

Gambar 4.11 (a) Grafik $P_{\text{motor}} / \Delta p$ terhadap Buka , (b) Grafik $P_{\text{motor}} / \Delta T$ terhadap Buka

Grafik $P_{\text{motor}} / \Delta p$ terhadap buka menunjukkan besarnya daya motor dibagi dengan tekanan yang dihasilkan terhadap variasi buka. Nilai $P_{\text{motor}} / \Delta p$ merupakan nilai *flowrate* yang dihasilkan saat terjadinya variasi buka. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa dengan bertambah Δp maka $P_{\text{motor}} / \Delta p$ akan semakin berkurang, sehingga nilai Δp terbesar terletak pada buka terkecil dari kompresor. Pada bulan Desember 2014 nilai $P_{\text{motor}} / \Delta p$ terbesar terletak pada buka 100% dan mencapai nilai 91 kWatt/bar. Nilai 91 kWatt/bar sama dengan nilai *flowrate* sebesar 0.91 m³/s pada buka 100 %. Kemudian pada bulan Januari 2015 nilai $P_{\text{motor}} / \Delta p$ terbesar terletak pada buka 100% dan mencapai 90 kWatt/bar. Nilai 90 kWatt/bar sama dengan nilai *flowrate* sebesar 0.90 m³/s pada buka 100 %. Kemudian pada bulan April nilai $P_{\text{motor}} / \Delta p$ terbesar terletak pada buka 100% dan encapai 85 kWatt/bar atau setara dengan nilai *flowrate* 0.85 m³/s. Ketiga grafik $P_{\text{motor}} / \Delta p$ tersebut terletak diatas nilai $P_{\text{motor}} / \Delta p$ saat buka 100%. Nilai $P_{\text{motor}} / \Delta p$ saat *commissioning* adalah 60 kWatt/bar atau setara dengan nilai 0.60 m³/s. Nilai

$P_{\text{motor}}/\Delta p$ atau *flowrate* ini memiliki fungsi kuadratik sehingga nilai *flowrate* akan membesar sesuai dengan fungsi kuadratik dengan semakin besarnya bukaan.

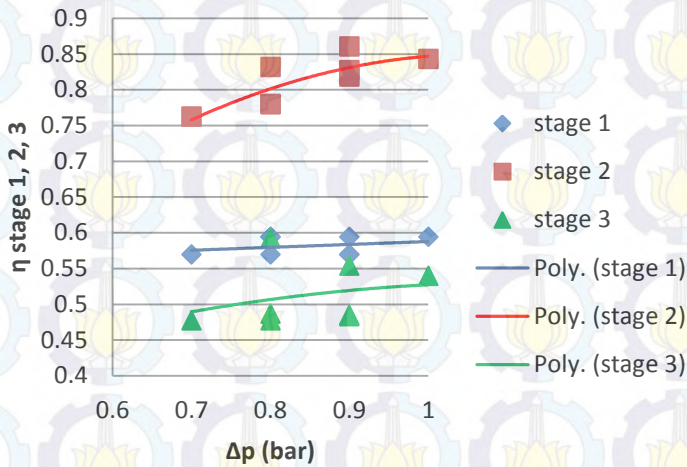
Grafik $P_{\text{motor}}/\Delta T$ menunjukkan besarnya daya motor dibagi dengan temperatur yang dihasilkan akibat variasi bukaan yang dijalankan. Nilai ΔT yang dihasilkan pada proses kompresi udara memiliki fungsi kuadratik, sehingga nilai ΔT semakin besar dengan bertambahnya bukaan pada kompresor. Pada bulan Desember 2014 didapatkan nilai $P_{\text{motor}}/\Delta T$ terletak antara 4.5-5.1 kWatt/ $^{\circ}\text{C}$. Kemudian pada bulan Januari 2015 didapatkan nilai $P_{\text{motor}}/\Delta T$ terletak antara 4.51-5.2 kWatt/ $^{\circ}\text{C}$. Pada bulan April 2015 didapatkan nilai $P_{\text{motor}}/\Delta T$ terletak antara 5.3-6 kWatt/ $^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan grafik diatas nilai $P_{\text{motor}}/\Delta T$ untuk ketiga *performance test* diatas terletak diatas nilai *commissioning* yakni 4.8 kWatt/ $^{\circ}\text{C}$.

Dari kedua grafik diatas disimpulkan bahwa $P_{\text{motor}}/\Delta p$ dan $P_{\text{motor}}/\Delta T$ terhadap bukaan berbanding secara kuadratik. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa sistem kompresor masih berjalan dengan baik namun sudah tidak sesuai dengan spesifikasi.

4.5.5 Grafik Efisiensi Terhadap Penurunan Tekanan pada Intercooler

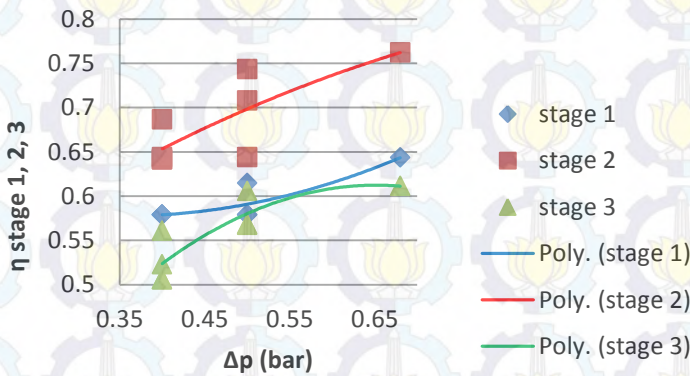
Berdasarkan data *performance test* bulan Desember 2014 hingga April 2015 didapatkan grafik efisiensi terhadap penurunan tekanan pada intercooler sebagai berikut :

Efisiensi Bulan Desember 2014 Vs Δp



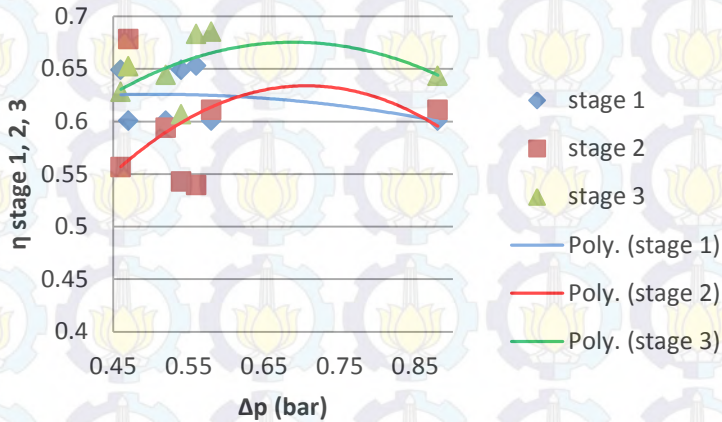
(a)

Efisiensi Bulan Januari 2015 Vs Δp



(b)

Efisiensi Bulan April 2015 Vs Δp



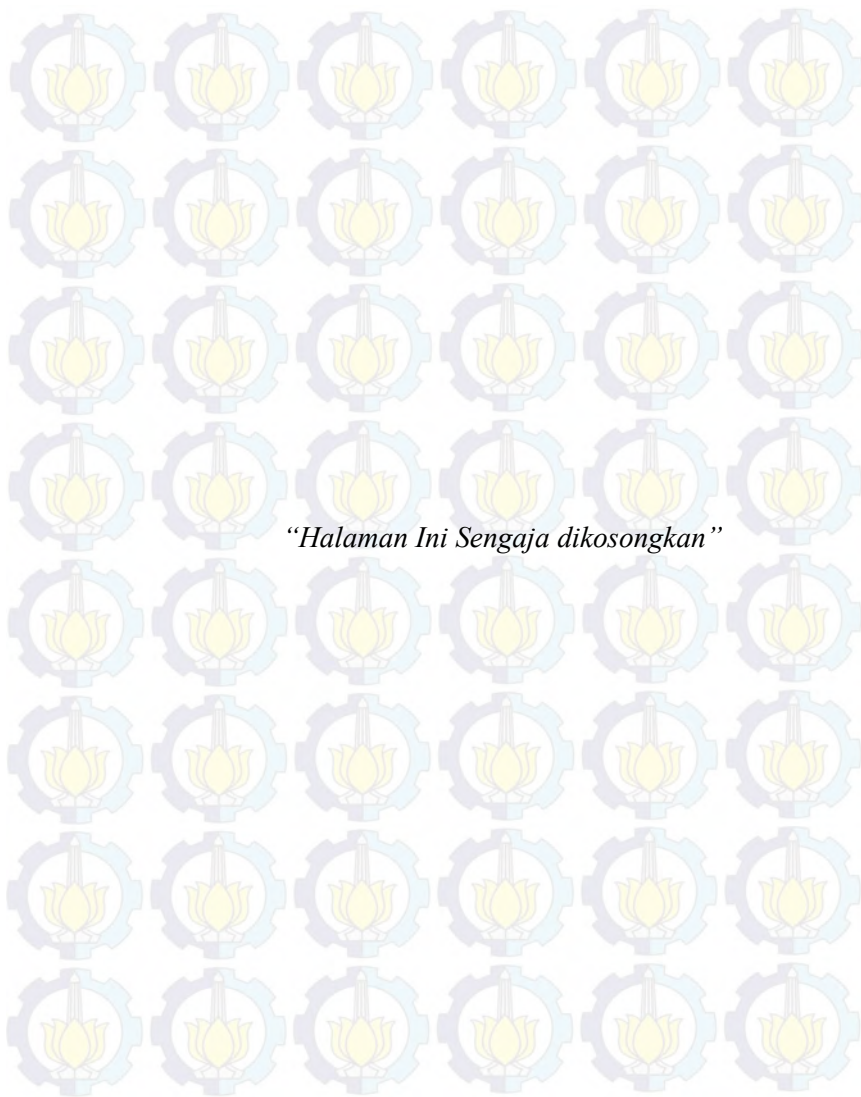
(c)

Gambar 4.12 (a) Grafik Penurunan Tekanan *Intercooler* terhadap Efisiensi Kompresor *Stage 1*, (b) Grafik Penurunan Tekanan *Intercooler* terhadap Efisiensi Kompresor *Stage 2*, dan (c) Grafik Penurunan Tekanan *Intercooler* terhadap Efisiensi Kompresor *Stage 3*

Berdasarkan grafik sistem kompresor diatas didapatkan bahwa nilai efisiensi *stage 1*, efisiensi *stage 2*, dan efisiensi *stage 3* pada bulan Desember hingga April 2015 mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya bukaan *valve* inlet kompresor. Ketika bukaan *valve* kompresor semakin besar, maka nilai *pressure drop* pada *intercooler 1* dan *intercooler 2* juga semakin kecil. Pada bulan desember 2014 didapatkan nilai *pressure drop intercooler* terletak pada nilai 0.7-1 bar. Kemudian nilai efisiensi *stage 1* mencapai nilai 0.569, efisiensi *stage 2* mencapai nilai 0.76, dan efisiensi *stage 3* mencapai nilai 0.483. Berdasarkan grafik pada bulan Januari 2015 didapatkan nilai *pressure drop* terletak antara 0.4-0.68 bar. Kemudian nilai efisiensi *stage 1*

mencapai nilai 0.579, efisiensi *stage* 2 mencapai nilai 0.64, dan efisiensi *stage* 3 mencapai nilai 0.505. Berdasarkan grafik pada bulan April 2015 didapatkan nilai efisiensi *stage* 1 menurun hingga mencapai nilai 0.60, efisiensi *stage* 2 mencapai nilai 0.53, dan efisiensi *stage* 3 mencapai nilai 0.6 sedangkan nilai *pressure drop* pada bulan April 2015 terletak antara 0.47-0.88 bar.

Berdasarkan analisis didapatkan bahwa nilai efisiensi kompresor 35-K-1A terletak pada bagian kiri atas sesuai dengan grafik isoe efisiensi kompresor pada gambar 2.7. Berdasarkan grafik tersebut didapatkan bahwa nilai efisiensi *isentropic* kompresor 35-K-1A mengalami penurunan seiring dengan bukaan *valve* inlet yang semakin membesar. Ketika bukaan *valve* diperkecil maka nilai *pressure* yang dihasilkan oleh kompresor semakin besar, namun nilai *flow* menjadi semakin kecil. Selain itu didapatkan nilai *pressure drop* pada *intercooler* 1 dan 2 meningkat seiring dengan mengecilnya bukaan *valve inlet*. Ketika *pressure drop* pada *intercooler* 1 dan 2 semakin besar, maka nilai *pressure* pada *discharge* kompresor menjadi semakin kecil. Hal ini berpengaruh terhadap menurunnya nilai *pressure ratio* kompresor sehingga dikatakan bahwa kompresor 35-K-1A mengalami *low performance*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sesuai pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut ini:

1. Nilai efisiensi isentropic kompresor *stage* 1, 2, dan 3 mengalami penurunan seiring dengan bukaan yang dijalankan.
2. Nilai efisiensi isentropic kompresor mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya *flow rate* yang masuk pada kompresor. Hal ini dikarenakan adanya kerak pada pipa inlet dan kondisi *valve* yang tidak sesuai
3. Nilai *effectiveness intercooler* 1 terletak diatas nilai *effectiveness intercooler* 2, sehingga diindikasikan bahwa *intercooler* 2 mengalami *low performance*.
4. Nilai *pressure drop intercooler* 2 terletak diatas nilai *pressure drop intercooler* 1 sehingga diindikasikan bahwa *intercooler* 2 mengalami *low performance*.
5. Nilai $P_{\text{motor}}/\Delta p$ merupakan nilai *flow rate* yang masuk pada kompresor. Berdasarkan dengan sistem nilai $P_{\text{motor}}/\Delta p$ masih dikatakan baik namun sudah tidak sesuai dengan spesifikasi.
6. Nilai $P_{\text{motor}}/\Delta T$ merupakan perbandingan antara nilai daya motor dibagi dengan temperatur. Berdasarkan dengan sistem nilai $P_{\text{motor}}/\Delta T$ masih dikatakan baik namun sudah tidak sesuai dengan spesifikasi.
7. Nilai *pressure ratio* kompresor menurun seiring dengan meningkatnya nilai *pressure drop* pada *intercooler* sehingga dikatakan bahwa kompresor mengalami *low performance*.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Perlunya ketelitian di dalam pembacaan alat pengukuran sehingga didapatkan data yang lebih akurat.

2. Perlunya pengecekan komponen PI dan TI secara berkala sehingga data menjadi lebih akurat.
3. Sebaiknya pengambilan data setiap performance test memiliki jam pengambilan yang sama
4. Sebaiknya pengambilan data dilakukan saat kompresor sudah berjalan dengan stabil



LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Tabel A-1	Hasil Perhitungan Kompresor pada Bulan Desember 2014
Tabel A-2	Hasil Perhitungan Kompresor pada Bulan Januari 2015
Tabel A-3	Hasil Perhitungan Kompresor pada Bulan April 2015
Tabel A-4	Hasil Perhitungan Kompresor pada <i>Comissioning</i>
Tabel A-5	Hasil Perhitungan <i>Intercooler</i> 1 pada Bulan Desember 2014
Tabel A-6	Hasil Perhitungan <i>Intercooler</i> 1 pada Bulan Januari 2015
Tabel A-7	Hasil Perhitungan <i>Intercooler</i> 1 pada Bulan April 2015
Tabel A-8	Hasil Perhitungan <i>Intercooler</i> 1 pada <i>Comissioning</i>
Tabel A-9	Hasil Perhitungan <i>Intercooler</i> 2 pada Bulan Desember 2014
Tabel A-10	Hasil Perhitungan <i>Intercooler</i> 2 pada Bulan Januari 2015
Tabel A-11	Hasil Perhitungan <i>Intercooler</i> 2 pada Bulan April 2015
Tabel A-12	Hasil Perhitungan <i>Intercooler</i> 2 pada <i>Comissioning</i>

LAMPIRAN B

Tabel B-1	Tabel Properties
Tabel B-2	Tabel Properties Udara
Tabel B-3	<i>Entalphy</i> Air Laut
Tabel B-4	Massa jenis air laut
Tabel B-5	Nilai <i>Cp</i> Air Laut
Tabel B-6	Nilai <i>Prandtl</i> Air Laut

Tabel A-1 Hasil Perhitungan Kompresor pada Bulan Desember 2014

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 100, Q=3052 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.44	1.77	287.59	2.75	365.13	364.51	-136.16	0.56	0.57
	Ta	423.0	Pa	2.3	1.44	1.77	424.31						
	Tb	311.0	Pb	2.0	1.44	1.77	311.25	4.17	411.51	410.38	-122.54	0.69	0.82
	T2	433.0	P2	5.3	1.44	1.77	434.48						
	Td	317.0	Pd	4.7	1.44	1.77	317.28	2.47	354.15	353.63	-76.34	0.29	0.48
	T3	393.0	P3	6.9	1.44	1.77	393.91						
		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{2s})	h _{2s} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 80, Q=3029 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.43	1.76	287.59	2.75	365.13	364.51	-136.16	0.56	0.57
	Ta	423.0	Pa	2.3	1.43	1.76	424.31						
	Tb	312.0	Pb	2.0	1.43	1.76	312.25	4.21	412.81	411.67	-121.54	0.69	0.83
	T2	433.0	P2	5.3	1.43	1.76	434.48						
	Td	318.0	Pd	4.7	1.43	1.76	318.28	2.53	356.75	356.20	-79.35	0.32	0.48
	T3	397.0	P3	7.0	1.43	1.76	397.95						

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{2s})	h _{2s} (kJ/kg)	T _{as} (K)	\dot{W}_{cv}/\dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 70, Q=2987 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.41	1.73	287.59	2.75	365.13	364.51	-136.16	0.56	0.57
	Ta	423.0	Pa	2.3	1.41	1.73	424.31						
	Tb	313.0	Pb	2.2	1.41	1.73	313.26	3.95	405.12	404.09	-120.53	0.69	0.76
	T2	433.0	P2	5.4	1.41	1.73	434.48						
	Td	319.0	Pd	4.8	1.41	1.73	319.29	2.54	357.17	356.62	-79.35	0.32	0.48
	T3	398.0	P3	7.1	1.41	1.73	398.96						

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg /s)	h (kJ/kg)	pr (T _{2s})	h _{2s} (kJ/kg)	T _{as} (K)	\dot{W}_{cv}/\dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 65, Q=2942 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.39	1.71	287.59	2.75	365.13	364.51	-136.16	0.56	0.57
	Ta	423.0	Pa	2.3	1.39	1.71	424.31						
	Tb	313.0	Pb	2.2	1.39	1.71	313.26	4.02	407.26	406.19	-120.53	0.69	0.78
	T2	433.0	P2	5.5	1.39	1.71	434.48						
	Td	319.0	Pd	4.8	1.39	1.71	319.29	2.54	357.17	356.62	-79.35	0.32	0.48
	T3	398.0	P3	7.1	1.39	1.71	398.96						

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{2s})	h _{2s} (kJ/kg)	T _{as} (K)	\dot{W}_{cv}/\dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 60, Q=2908 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.37	1.69	287.59	2.87	369.66	369.00	-138.17	0.58	0.59
	Ta	425.0	Pa	2.4	1.37	1.69	426.35						
	Tb	313.0	Pb	2.2	1.37	1.69	313.26	4.02	407.26	406.19	-120.53	0.69	0.78
	T2	433.0	P2	5.5	1.37	1.69	434.48						
	Td	319.0	Pd	4.9	1.37	1.69	319.29	2.56	357.91	357.36	-79.35	0.32	0.49
T3	398.0	P3	7.3	1.37	1.69	398.96							

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{2s})	h _{2s} (kJ/kg)	T _{as} (K)	\dot{W}_{cv}/\dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kg/kg)	η
bukaan 55, Q=2790 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.32	1.62	287.59	2.87	369.66	369.00	-138.17	0.58	0.59
	Ta	425.0	Pa	2.4	1.32	1.62	426.35						
	Tb	313.0	Pb	2.1	1.32	1.62	313.26	4.29	414.86	413.68	-120.53	0.69	0.84
	T2	433.0	P2	5.6	1.32	1.62	434.48						
	Td	319.0	Pd	4.9	1.32	1.62	319.29	2.67	362.10	361.50	-79.35	0.32	0.54
	T3	398.0	P3	7.6	1.32	1.62	398.96						

		T (K)		bar	\dot{Q} (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{2s})	h _{2s} (kJ/kg)	T _{as} (K)	\dot{W}_{cv}/\dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 50, Q=2624 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.24	1.52	287.59	2.87	369.66	369.00	-138.17	0.58	0.59
	Ta	425.0	Pa	2.4	1.24	1.52	426.35						
	Tb	313.0	Pb	2.1	1.24	1.52	313.26	4.37	416.96	415.76	-120.53	0.69	0.86
	T2	433.0	P2	5.7	1.24	1.52	434.48						
	Td	319.0	Pd	5.1	1.24	1.52	319.29	2.70	363.24	362.64	-79.35	0.32	0.55
	T3	398.0	P3	8.0	1.24	1.52	398.96						

		T (K)		bar	\dot{Q} (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{2s})	h _{2s} (kJ/kg)	T _{as} (K)	\dot{W}_{cv}/\dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 45, Q=2450 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.16	1.42	287.59	2.87	369.66	369.00	-138.17	0.58	0.59
	Ta	425.0	Pa	2.4	1.16	1.42	426.35						
	Tb	313.0	Pb	2.2	1.16	1.42	313.26	4.24	413.52	412.36	-120.53	0.69	0.83
	T2	433.0	P2	5.8	1.16	1.42	434.48						
	Td	319.0	Pd	5.2	1.16	1.42	319.29	2.78	366.29	365.66	-79.35	0.32	0.59
	T3	398.0	P3	8.4	1.16	1.42	398.96						

Tabel A-2 Hasil Perhitungan Kompresor pada Bulan Januari 2015

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 100, Q=3050 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.44	1.77	287.59	2.63	360.60	360.02	-126.12	0.45	0.58
	Ta	413.0	Pa	2.2	1.44	1.77	414.16						
	Tb	311.0	Pb	2.0	1.44	1.77	311.25	3.38	388.56	387.75	-120.53	0.67	0.64
	T2	431.0	P2	4.3	1.44	1.77	432.45						
	Td	311.0	Pd	4.5	1.44	1.77	311.25	2.38	350.37	349.88	-77.34	2.29	0.51
	T3	388.0	P3	6.8	1.44	1.77	390.88						
		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 80, Q=3040 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.43	1.76	287.59	2.63	360.60	360.02	-126.12	0.45	0.58
	Ta	413.0	Pa	2.2	1.43	1.76	414.16						
	Tb	311.0	Pb	2.0	1.43	1.76	311.25	3.38	388.56	387.75	-120.53	0.67	0.64
	T2	431.0	P2	4.3	1.43	1.76	432.45						
	Td	311.0	Pd	4.5	1.43	1.76	311.25	2.38	350.37	349.88	-77.34	0.27	0.51
	T3	388.0	P3	6.8	1.43	1.76	388.86						

		T (K)		bar	\dot{Q} (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 70, Q=2987 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.41	1.73	287.59	2.63	360.60	360.02	-126.12	0.45	0.58
	Ta	413.0	Pa	2.2	1.41	1.73	414.16						
	Tb	311.0	Pb	2.0	1.41	1.73	311.25	3.46	390.17	389.30	-122.54	0.69	0.64
	T2	433.0	P2	4.4	1.41	1.73	434.48						
	Td	312.0	Pd	4.6	1.41	1.73	312.25	2.42	352.17	351.67	-76.34	0.27	0.52
	T3	388.0	P3	7.0	1.41	1.73	388.86						

		T (K)		bar	\dot{Q} (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 60, Q=2880 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.36	1.67	287.59	2.63	360.60	360.02	-126.12	0.45	0.58
	Ta	413.0	Pa	2.2	1.36	1.67	414.16						
	Tb	311.0	Pb	2.0	1.36	1.67	311.25	3.46	390.17	389.30	-122.54	0.69	0.64
	T2	433.0	P2	4.4	1.36	1.67	434.48						
	Td	312.0	Pd	4.7	1.36	1.67	312.25	2.50	355.60	355.06	-76.34	0.27	0.57
	T3	388.0	P3	7.4	1.36	1.67	388.86						

		T (K)		bar	\dot{Q} (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 45, Q=2470 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.17	1.43	287.59	2.75	365.13	364.51	-126.12	0.45	0.61
	Ta	413.0	Pa	2.3	1.17	1.43	414.16						
	Tb	311.0	Pb	2.0	1.17	1.43	311.25	3.85	402.34	401.35	-122.54	0.69	0.74
	T2	433.0	P2	4.9	1.17	1.43	434.48						
	Td	312.0	Pd	5.1	1.17	1.43	312.25	2.62	360.32	359.74	-79.35	0.29	0.61
	T3	391.0	P3	8.4	1.17	1.43	391.89						

		T (K)		bar	\dot{Q} (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 40, Q=2370 SCFM	T1	287.4	P1	1.0	1.12	1.37	287.59	2.84	368.75	368.10	-126.12	0.45	0.64
	Ta	413.0	Pa	2.4	1.12	1.37	414.16						
	Tb	311.0	Pb	2.0	1.12	1.37	311.25	3.93	404.64	403.61	-122.54	0.69	0.76
	T2	433.0	P2	5.0	1.12	1.37	434.48						
	Td	312.0	Pd	5.2	1.12	1.37	312.25	2.63	360.76	360.18	-79.35	0.29	0.61
	T3	391.0	P3	8.6	1.12	1.37	391.89						

Tabel A-3 Hasil Perhitungan Kompresor pada Bulan April 2015

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	\dot{W}_{cv}/\dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 100, Q=3411 SCFM	T1	288.0	P1	1.0	1.61	1.97	288.15	2.69	363.10	362.50	-115.51	0.36	0.65
	Ta	403.0	P2	2.2	1.61	1.97	404.02						
	Tb	299.0	P3	2.1	1.61	1.97	299.19	2.94	372.24	371.55	-134.60	0.70	0.54
	T2	433.0	P4	4.5	1.61	1.97	434.48						
	Td	315.0	P5	4.9	1.61	1.97	315.27	2.68	362.80	362.20	-78.35	0.29	0.61
	T3	393.0	P6	8.0	1.61	1.97	393.91						
		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	\dot{W}_{cv}/\dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 80, Q=3300 SCFM	T1	288.0	P1	1.0	1.56	1.91	288.15	2.69	363.10	362.50	-115.51	0.36	0.65
	Ta	403.0	P2	2.2	1.56	1.91	404.02						
	Tb	299.0	P3	2.1	1.56	1.91	299.19	2.99	374.09	373.39	-134.60	0.70	0.56
	T2	433.0	P4	4.6	1.56	1.91	434.48						
	Td	315.5	P5	4.9	1.56	1.91	315.77	2.73	364.65	364.04	-77.85	0.29	0.63
	T3	393.0	P6	8.1	1.56	1.91	393.91						

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 70, Q=3200 SCFM	T1	288.6	P1	1.0	1.51	1.85	288.70	2.71	363.78	363.17	-114.96	0.36	0.65
	Ta	403.0	P2	2.2	1.51	1.85	404.02						
	Tb	296.0	P3	2.1	1.51	1.85	296.17	2.88	370.39	369.72	-137.61	0.70	0.54
	T2	433.0	P4	4.6	1.51	1.85	434.48						
	Td	316.0	P5	5.0	1.51	1.85	316.27	2.76	365.68	365.05	-72.32	0.26	0.68
	T3	388.0	P6	8.3	1.51	1.85	388.86						

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{cv} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 65, Q=3128 SCFM	T1	288.6	P1	1.0	1.48	1.81	288.70	2.71	363.78	363.17	-125.00	0.45	0.60
	Ta	413.0	P2	2.2	1.48	1.81	414.16						
	Tb	301.0	P3	2.1	1.48	1.81	301.20	3.15	379.93	379.17	-132.59	0.70	0.59
	T2	433.0	P4	4.7	1.48	1.81	434.48						
	Td	316.0	P5	5.1	1.48	1.81	316.27	2.77	366.10	365.47	-77.34	0.29	0.64
	T3	393.0	P6	8.5	1.48	1.81	393.91						

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	Wcv/ \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 45, Q=2727 SCFM	T1	288.6	P1	1.0	1.29	1.58	288.70	2.71	363.78	363.17	- 125.00	0.45	0.60
	Ta	413.0	P2	2.2	1.29	1.58	414.16						
	Tb	300.0	P3	2.1	1.29	1.58	300.19	3.21	381.82	381.04	- 133.59	0.70	0.61
	T2	433.0	P4	4.9	1.29	1.58	434.48						
	Td	315.0	P5	5.6	1.29	1.58	315.27	2.76	365.66	365.03	-78.35	0.29	0.64
	T3	393.0	P6	9.4	1.29	1.58	393.91						



		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	W _{ev} / \dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 40, Q=2674 SCFM	T1	288.6	P1	1.0	1.26	1.55	288.70	2.71	363.78	363.17	-125.00	0.45	0.60
	Ta	413.0	P2	2.2	1.26	1.55	414.16						
	Tb	300.0	P3	2.1	1.26	1.55	300.19	3.48	390.79	389.91	-133.59	0.70	0.68
	T2	433.0	P4	5.3	1.26	1.55	434.48						
	Td	314.5	P5	5.6	1.26	1.55	314.77	2.77	366.20	365.57	-78.85	0.29	0.65
	T3	393.0	P6	9.5	1.26	1.55	393.91						

Tabel A-4 Hasil Perhitungan Kompresor pada *Comissioning*

		T (K)		bar	Q (m ³ /s)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	pr (T _{as})	h _{as} (kJ/kg)	T _{as} (K)	\dot{W}_{cv}/\dot{m} (kJ/kg)	\dot{m} (kJ/kg)	η
bukaan 100, Q=3000 SCFM	T1	299.6	P1	1.0	1.42	2.53	299.78	3.23	382.72	381.93	-115.35	0.48	0.72
	Ta	414.4	P2	2.3	1.42	2.53	415.61						
	Tb	305.5	P3	2.3	1.42	2.53	305.76	3.50	391.35	390.46	-118.27	0.57	0.72
	T2	423.3	P4	5.4	1.42	2.53	424.60						
	Td	306.0	P5	5.3	1.42	2.53	306.25	2.68	362.62	362.03	-77.13	0.23	0.73
	T3	382.8	P6	9.5	1.42	2.53	383.62						

Tabel A-5 Hasil Perhitungan *Intercooler* 1 pada Bulan Desember 2014

Bukaan	$T_{h \text{ in udara}}$ (°C)	$T_{h \text{ out udara}}$ (°C)	$h \text{ in udara}$ (kJ/kg)	$h \text{ out udara}$ (kJ/kg)	$T_{c \text{ in air laut}}$ (°C)	$T_{c \text{ out air laut}}$ (°C)	$h \text{ in air laut}$ (kJ/kg)
100	150	38	424.8	311.7	30	43	119.98
80	150	39	424.8	312.7	30	43	119.98
70	150	40	424.8	313.7	30	43	119.98
65	150	40	424.8	313.7	30	43	119.98
60	152	40	426.8	313.7	30	43	119.98
55	152	40	426.8	313.7	30	43	119.98
50	152	40	426.8	313.7	30	43	119.98
45	152	40	426.8	313.7	30	43	119.98

$h \text{ out air laut}$ (kJ/kg)	$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q \text{ air laut}$ (kJ/s)	$Q_{\text{udara}} \text{ (J/s)}$	$C_{p \text{ udara}}$ (j/kg.K)	$C_{\text{udara}} \text{ (J/s.K)}$
172.18	1.44	1.20132	4.5	234.9	-135869.292	1015	1219.3398
172.18	1.43	1.1929775	4.5	234.9	-133732.7778	1015	1210.872163
172.18	1.41	1.1762925	4.5	234.9	-130686.0968	1015	1193.936888
172.18	1.39	1.1596075	4.5	234.9	-128832.3933	1015	1177.001613

$h_{\text{out air laut}}$ (kJ/kg)	Q (m ³ /s)	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	Q_{udara} (J/s)	$C_{p \text{ udara}}$ (j/kg.K)	C_{udara} (J/s.K)
172.18	1.37	1.1371	4.5	234.9	-128606.01	1015	1154.1565
172.18	1.32	1.0956	4.5	234.9	-123912.36	1015	1112.034
172.18	1.24	1.0292	4.5	234.9	-116402.52	1015	1044.638
172.18	1.16	0.9628	4.5	234.9	-108892.68	1015	977.242

$C_{p \text{ air laut}}$ (J/kg.K)	$C_{\text{air laut}}$ (J/s.K)	C_r	q_{maks} (J/s)	$\rho_{\text{in udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{in air laut}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out air laut}}$ (kg/m ³)
4005	18022.5	0.067656529	146320.776	0.83425	1.13448	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.067186692	145304.6595	0.83425	1.1267	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.066247018	143272.4265	0.83425	1.1267	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.065307344	141240.1935	0.83425	1.1267	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.064039756	140807.093	0.83	1.1267	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.061702538	135668.148	0.83	1.1267	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.057962991	127445.836	0.83	1.1267	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.054223443	119223.524	0.83	1.1267	1020.175	1018.35

$V_{udara} (m/s)$	$v_{air\ laut} (m/s)$	$\mu_{in} (kg/m.s)$	$\mu_{out} (kg/m.s)$	Pr_{udara}	$Pr_{air\ laut}$	$k_f (W/m.K)$	$D_i (m)$
1.26	2.33	0.0000239	0.00001901	0.6935	5.0575	238.965	0.013395
1.26	2.33	0.0000239	0.00001901	0.6935	5.0575	238.965	0.013395
1.26	2.33	0.0000239	0.00001901	0.6935	5.0575	238.965	0.013395
1.26	2.33	0.0000239	0.00001901	0.6935	5.0575	238.965	0.013395
1.26	2.33	0.000024	0.00001901	0.6933	5.0575	238.965	0.013395
1.26	2.33	0.000024	0.00001901	0.6933	5.0575	238.965	0.013395
1.26	2.33	0.000024	0.00001901	0.6933	5.0575	238.965	0.013395
1.26	2.33	0.000024	0.00001901	0.6933	5.0575	238.965	0.013395

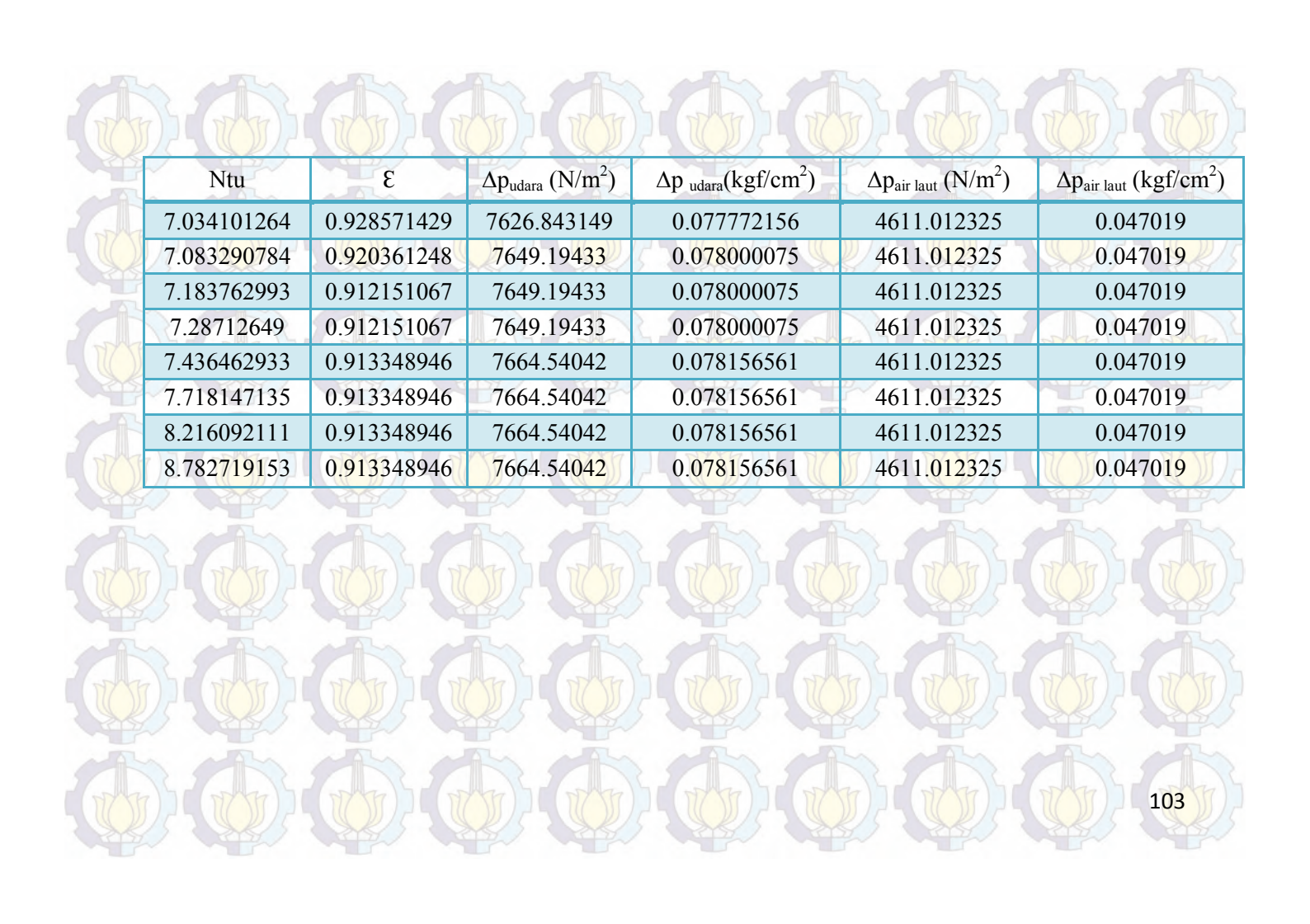
$D_o (m)$	$t_f (m)$	$D_r (m)$	$A_{tube} (m^2)$	$P_t (m)$	$P_l (m)$	$L_1 (m)$	$L_2 (m)$	$L_3 (m)$	$L (m)$
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176

2a"	b"	2b"	A _o (m ²)	A _{fr} (m ²)	D _h (m)	σ
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561

G udara (kg/m ² .s)	Re _D udara	Re _D air laut	N _{ud} udara	Nu _d air laut	j udara	h udara (W/m ² .K)	h air laut (W/m ² .K)
2.963382722	257.6897191	1515.065534	7.54	3.66	0.033052612	126.9058303	167.3179432
2.963382722	257.6897191	1515.065534	7.54	3.66	0.033052612	126.9058303	167.3179432
2.963382722	257.6897191	1515.065534	7.54	3.66	0.033052612	126.9058303	167.3179432
2.963382722	257.6897191	1515.065534	7.54	3.66	0.033052612	126.9058303	167.3179432
2.948286076	255.3087083	1515.065534	7.54	3.66	0.033364065	127.4735795	167.3179432

G_{udara} ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$)	Re_D udara	Re_D air laut	N_{ud} udara	Nu_d air laut	j udara	h_{udara} ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	$h_{\text{air laut}}$ ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
2.948286076	255.3087083	1515.065534	7.54	3.66	0.033364065	127.4735795	167.3179432
2.948286076	255.3087083	1515.065534	7.54	3.66	0.033364065	127.4735795	167.3179432
2.948286076	255.3087083	1515.065534	7.54	3.66	0.033364065	127.4735795	167.3179432

f_{udara}	$f_{\text{air laut}}$	m	η_f	R_w	η_o	U ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
0.372541056	0.042242397	65.18064183	0.640444181	0.010579019	0.643934298	30.27615121
0.372541056	0.042242397	65.18064183	0.640444181	0.010579019	0.643934298	30.27615121
0.372541056	0.042242397	65.18064183	0.640444181	0.010579019	0.643934298	30.27615121
0.372541056	0.042242397	65.18064183	0.640444181	0.010579019	0.643934298	30.27615121
0.376015376	0.042242397	65.32628115	0.639520321	0.010579019	0.643019405	30.29691573
0.376015376	0.042242397	65.32628115	0.639520321	0.010579019	0.643019405	30.29691573
0.376015376	0.042242397	65.32628115	0.639520321	0.010579019	0.643019405	30.29691573
0.376015376	0.042242397	65.32628115	0.639520321	0.010579019	0.643019405	30.29691573



Ntu	ε	$\Delta p_{\text{udara}} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\Delta p_{\text{udara}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	$\Delta p_{\text{air laut}} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\Delta p_{\text{air laut}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
7.034101264	0.928571429	7626.843149	0.077772156	4611.012325	0.047019
7.083290784	0.920361248	7649.19433	0.078000075	4611.012325	0.047019
7.183762993	0.912151067	7649.19433	0.078000075	4611.012325	0.047019
7.28712649	0.912151067	7649.19433	0.078000075	4611.012325	0.047019
7.436462933	0.913348946	7664.54042	0.078156561	4611.012325	0.047019
7.718147135	0.913348946	7664.54042	0.078156561	4611.012325	0.047019
8.216092111	0.913348946	7664.54042	0.078156561	4611.012325	0.047019
8.782719153	0.913348946	7664.54042	0.078156561	4611.012325	0.047019

Tabel A-6 Hasil Perhitungan *Intercooler* 1 pada Bulan Januari 2015

Bukaan	$T_{h \text{ in udara}}$ (°C)	$T_{h \text{ out udara}}$ (°C)	$h \text{ in udara}$ (kJ/kg)	$h \text{ out udara}$ (kJ/kg)	$T_{c \text{ in air laut}}$ (°C)	$T_{c \text{ out air laut}}$ (°C)	$h \text{ in air laut}$ (kJ/kg)
100	140	38	414.6	311.7	30	43	119.98
80	140	38	414.6	311.7	30	43	119.98
70	140	38	414.6	311.7	30	43	119.98
60	140	38	414.6	311.7	30	43	119.98
55	140	38	414.6	311.7	30	43	119.98
50	140	38	414.6	311.7	30	43	119.98
45	140	38	414.6	311.7	30	43	119.98
40	140	38	414.6	311.7	30	43	119.98

$h \text{ out air laut}$ (kJ/kg)	\dot{Q} (m ³ /s)	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$\dot{Q}_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	\dot{Q}_{udara} (J/s)	$C_p \text{ udara}$ (j/kg.K)	C_{udara} (J/s.K)
172.18	1.44	1.22904	4.5	234.9	-126468.216	1013	1245.01752
172.18	1.43	1.6946215	4.5	234.9	-174376.5524	1013	1716.65158
172.18	1.41	1.203435	4.5	234.9	-123833.4615	1013	1219.079655
172.18	1.36	1.16076	4.5	234.9	-119442.204	1013	1175.84988

$h_{\text{out air laut}}$ (kJ/kg)	\dot{Q} (m ³ /s)	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$\dot{Q}_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	\dot{Q}_{udara} (J/s)	C_p_{udara} (J/kg.K)	C_{udara} (J/s.K)
172.18	1.31	1.118085	4.5	234.9	-115050.9465	1013	1132.620105
172.18	1.25	1.066875	4.5	234.9	-109781.4375	1013	1080.744375
172.18	1.17	0.998595	4.5	234.9	-102755.4255	1013	1011.576735
172.18	1.12	0.95592	4.5	234.9	-98364.168	1013	968.34696

$C_p_{\text{air laut}}$ (J/kg.K)	$C_{\text{air laut}}$ (J/s.K)	Cr	\dot{q}_{maks} (J/s)	$\rho_{\text{in udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{in air laut}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out air laut}}$ (kg/m ³)
4005	18022.5	0.069081288	136951.9272	0.8535	1.18505	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.095250469	188831.6737	0.8535	1.18505	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.067642095	134098.7621	0.8535	1.14615	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.065243439	129343.4868	0.8535	1.14615	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.062844783	124588.2116	0.8535	1.14615	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.059966396	118881.8813	0.8535	1.14615	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.056128547	111273.4409	0.8535	1.14615	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.053729891	106518.1656	0.8535	1.14615	1020.175	1018.35

v_{udara} (m/s)	$v_{\text{air laut}}$ (m/s)	μ_{in} (kg/m.s)	μ_{out} (kg/m.s)	Pr_{udara}	$Pr_{\text{air laut}}$	k_f (W/m.K)	D_i (m)	D_o (m)
1.26	2.33	0.0000235	0.0000189	0.694	5.0575	238.965	0.013395	0.015875
1.26	2.33	0.0000235	0.0000189	0.694	5.0575	238.965	0.013395	0.015875
1.26	2.33	0.0000235	0.0000189	0.694	5.0575	238.965	0.013395	0.015875
1.26	2.33	0.0000235	0.0000189	0.694	5.0575	238.965	0.013395	0.015875
1.26	2.33	0.0000235	0.0000189	0.694	5.0575	238.965	0.013395	0.015875
1.26	2.33	0.0000235	0.0000189	0.694	5.0575	238.965	0.013395	0.015875
1.26	2.33	0.0000235	0.0000189	0.694	5.0575	238.965	0.013395	0.015875
1.26	2.33	0.0000235	0.0000189	0.694	5.0575	238.965	0.013395	0.015875

t_f (m)	D_r (m)	A_{tube} (m ²)	P_t (m)	P_1 (m)	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	L (m)
0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176

t_f (m)	D_f (m)	A_{tube} (m ²)	P_t (m)	P_l (m)	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	L (m)
0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176

L_c (m)	N_t	N_l	N	N_{fin}	A_p (m ²)	A_{fin} (m ²)	A_c (m ²)	A (m ²)
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497

$2a''$	b''	$2b''$	$A_o \text{ (m}^2\text{)}$	$A_{fr} \text{ (m}^2\text{)}$	$D_h \text{ (m)}$	σ
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561

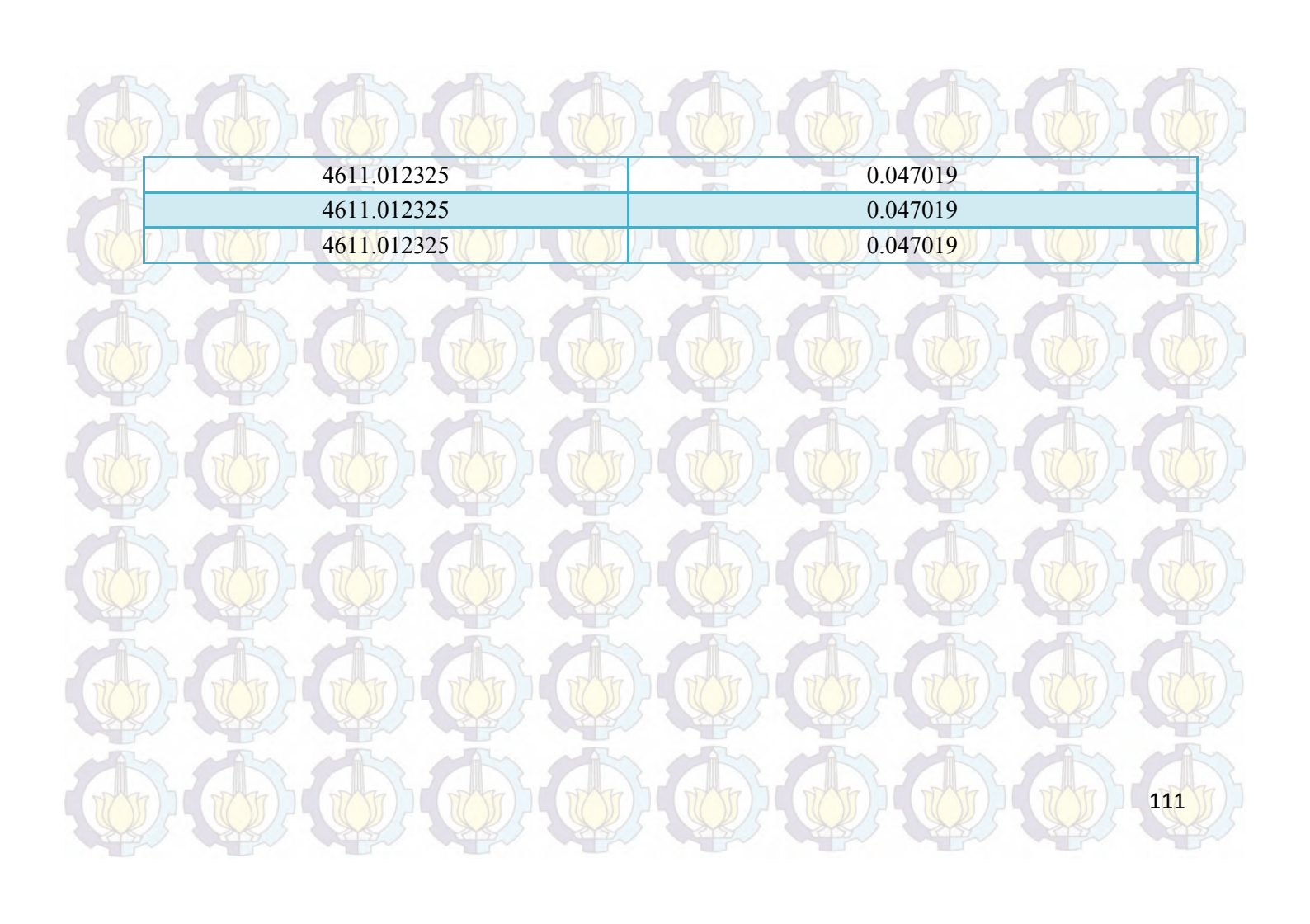
$G_{udara} \text{ (kg/m}^2\text{.s)}$	$Re_{D_{udara}}$	$Re_{D_{air laut}}$	$N_{ud_{udara}}$	$Nu_{d_{air laut}}$	j_{udara}	$h_{udara} \text{ (W/m}^2\text{.K)}$
3.031761646	268.1232289	1515.065534	7.54	3.66	0.031758809	124.4462844
3.031761646	268.1232289	1515.065534	7.54	3.66	0.031758809	124.4462844
3.031761646	268.1232289	1515.065534	7.54	3.66	0.031758809	124.4462844
3.031761646	268.1232289	1515.065534	7.54	3.66	0.031758809	124.4462844
3.031761646	268.1232289	1515.065534	7.54	3.66	0.031758809	124.4462844

$G_{\text{udara}} \text{ (kg/m}^2\text{.s)}$	$Re_D \text{ udara}$	$Re_D \text{ air laut}$	$N_{ud} \text{ udara}$	$Nu_d \text{ air laut}$	$j \text{ udara}$	$h_{\text{udara}} \text{ (W/m}^2\text{.K)}$
3.031761646	268.1232289	1515.065534	7.54	3.66	0.031758809	124.4462844
3.031761646	268.1232289	1515.065534	7.54	3.66	0.031758809	124.4462844
3.031761646	268.1232289	1515.065534	7.54	3.66	0.031758809	124.4462844

$h_{\text{air laut}} \text{ (W/m}^2\text{.K)}$	f_{udara}	$f_{\text{air laut}}$	m	η_f	R_w
167.3179432	0.358044323	0.042242397	64.54592252	0.644486803	0.010579019
167.3179432	0.358044323	0.042242397	64.54592252	0.644486803	0.010579019
167.3179432	0.358044323	0.042242397	64.54592252	0.644486803	0.010579019
167.3179432	0.358044323	0.042242397	64.54592252	0.644486803	0.010579019
167.3179432	0.358044323	0.042242397	64.54592252	0.644486803	0.010579019
167.3179432	0.358044323	0.042242397	64.54592252	0.644486803	0.010579019
167.3179432	0.358044323	0.042242397	64.54592252	0.644486803	0.010579019

η_o	U (W/m ² .K)	Ntu	ε	Δp_{udara} (N/m ²)	Δp_{udara} (kgf/cm ²)
0.647937679	30.18326432	6.867891798	0.923449699	7433.620072	0.075801829
0.647937679	30.18326432	4.981002386	0.923449699	7433.620072	0.075801829
0.647937679	30.18326432	7.014017155	0.923449699	7539.42318	0.076880721
0.647937679	30.18326432	7.271885433	0.923449699	7539.42318	0.076880721
0.647937679	30.18326432	7.549438312	0.923449699	7539.42318	0.076880721
0.647937679	30.18326432	7.911811351	0.923449699	7539.42318	0.076880721
0.647937679	30.18326432	8.452789905	0.923449699	7539.42318	0.076880721
0.647937679	30.18326432	8.830146597	0.923449699	7539.42318	0.076880721

$\Delta p_{air\ laut}$ (N/m ²)	$\Delta p_{air\ laut}$ (kgf/cm ²)
4611.012325	0.047019
4611.012325	0.047019
4611.012325	0.047019
4611.012325	0.047019
4611.012325	0.047019



4611.012325	0.047019
4611.012325	0.047019
4611.012325	0.047019

Tabel A-7 Hasil Perhitungan *Intercooler* 1 pada Bulan April 2015

Bukaan	$T_{h \text{ in udara}}$ (°C)	$T_{h \text{ out udara}}$ (°C)	$h \text{ in udara}$ (kJ/kg)	$h \text{ out udara}$ (kJ/kg)	$T_{c \text{ in air laut}}$ (°C)	$T_{c \text{ out air laut}}$ (°C)	$h \text{ in air laut}$ (kJ/kg)
100	130	36	404.5	305	30	43	119.98
80	130	26	404.5	305	30	43	119.98
70	130	23	404.5	304	30	43	119.98
65	140	28	414.6	306	30	43	119.98
55	140	27	414.6	306	30	43	119.98
45	140	27	414.6	306	30	43	119.98
40	140	27	414.6	306	30	43	119.98

$h \text{ out air laut}$ (kJ/kg)	Q (m ³ /s)	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	Q_{udara} (J/s)	$C_p \text{ udara}$ (j/kg.K)	C_{udara} (J/s.K)
172.18	1.57	1.3749275	4.5	234.9	-136805.2863	1013	1392.801558
172.18	1.56	1.36617	4.5	234.9	-135933.915	1013	1383.93021
172.18	1.51	1.3223825	4.5	234.9	-132899.4413	1013	1339.573473
172.18	1.48	1.26318	4.5	234.9	-137181.348	1013	1279.60134
172.18	1.41	1.203435	4.5	234.9	-130693.041	1013	1219.079655

$h_{\text{out air laut}}$ (kJ/kg)	Q (m ³ /s)	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	Q_{udara} (J/s)	C_p_{udara} (J/kg.K)	C_{udara} (J/s.K)
172.18	1.29	1.101015	4.5	234.9	-119570.229	1013	1115.328195
172.18	1.26	1.07541	4.5	234.9	-116789.526	1013	1089.39033

$C_p_{\text{air laut}}$ (J/kg.K)	$C_{\text{air laut}}$ (J/s.K)	Cr	q_{maks} (J/s)	$\rho_{\text{in udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{in air laut}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out air laut}}$ (kg/m ³)
4005	18022.5	0.077281263	139280.1558	0.87575	1.18505	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.076789025	138393.021	0.87575	1.18505	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.074327839	133957.3473	0.87575	1.18505	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.071000213	140756.1474	0.8535	1.19	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.067642095	134098.7621	0.8535	1.19	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.061885321	122686.1015	0.8535	1.19	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.060446127	119832.9363	0.8535	1.19	1020.175	1018.35

v_{udara} (m/s)	$v_{\text{air laut}}$ (m/s)	μ_{in} (kg/m.s)	μ_{out} (kg/m.s)	Pr_{udara}	$Pr_{\text{air laut}}$	k_f (W/m.K)	D_i (m)
1.26	2.33	0.0000231	0.0000185	0.697	5.0575	238.965	0.013395

[illegible]

L_c (m)	N_t	N_l	N	N_{fin}	A_p (m ²)	A_{fin} (m ²)	A_c (m ²)	A (m ²)
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497

$2a''$	b''	$2b''$	A_o (m ²)	A_{fr} (m ²)	D_h (m)	σ
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561

2a"	b"	2b"	$A_o \text{ (m}^2\text{)}$	$A_{fr} \text{ (m}^2\text{)}$	$D_h \text{ (m)}$	σ
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561

$G_{udara} \text{ (kg/m}^2\text{.s)}$	$Re_{D_{udara}}$	$Re_{D_{air laut}}$	$N_{ud_{udara}}$	$Nu_{d_{air laut}}$	j_{udara}	$h_{udara} \text{ (W/m}^2\text{.K)}$
3.110797025	279.8768284	1515.065534	7.54	3.66	0.030381407	121.8015302
3.110797025	279.8768284	1515.065534	7.54	3.66	0.030381407	121.8015302
3.110797025	279.8768284	1515.065534	7.54	3.66	0.030381407	121.8015302
3.031761646	272.7660554	1515.065534	7.54	3.66	0.031218233	122.3280498
3.031761646	272.7660554	1515.065534	7.54	3.66	0.031218233	122.3280498
3.031761646	272.7660554	1515.065534	7.54	3.66	0.031218233	122.3280498
3.031761646	272.7660554	1515.065534	7.54	3.66	0.031218233	122.3280498

$h_{air laut} \text{ (W/m}^2\text{.K)}$	f_{udara}	$f_{air laut}$	m	η_f	R_w	η_o
167.3179432	0.343008032	0.042242397	63.8563686	0.64890845	0.01057901	0.65231641
167.3179432	0.343008032	0.042242397	63.8563686	0.64890845	0.01057901	0.65231641

$h_{\text{air laut}}$ (W/m ² .K)	f_{udara}	$f_{\text{air laut}}$	m	η_f	R_w	η_o
167.3179432	0.343008032	0.042242397	63.8563686	0.64890845	0.01057901	0.65231641
167.3179432	0.351949952	0.042242397	63.9942378	0.64802193	0.01057901	0.65143849
167.3179432	0.351949952	0.042242397	63.9942378	0.64802193	0.01057901	0.65143849
167.3179432	0.351949952	0.042242397	63.9942378	0.64802193	0.01057901	0.65143849
167.3179432	0.351949952	0.042242397	63.9942378	0.64802193	0.01057901	0.65143849

U (W/m ² .K)	Ntu	ϵ	Δp_{udara} (N/m ²)	Δp_{udara} (kgf/cm ²)	$\Delta p_{\text{air laut}}$ (N/m ²)	$\Delta p_{\text{air laut}}$ (kgf/cm ²)
30.07786436	6.117732073	0.982230997	7386.906389	0.075325482	4611.012325	0.047019
30.07786436	6.156948304	0.982230997	7386.906389	0.075325482	4611.012325	0.047019
30.07786436	6.360820764	0.992102665	7386.906389	0.075325482	4611.012325	0.047019
30.09931721	6.663688048	0.97460289	7294.314642	0.074381309	4611.012325	0.047019
30.09931721	6.99450944	0.97460289	7294.314642	0.074381309	4611.012325	0.047019
30.09931721	7.645161481	0.97460289	7294.314642	0.074381309	4611.012325	0.047019
30.09931721	7.827189136	0.97460289	7294.314642	0.074381309	4611.012325	0.047019

Tabel A-8 Hasil Perhitungan *Intercooler* 1 pada *Comissioning*

Buka an	Th in udara	Th out udara	h in udara	h out udara	Tc in air laut	Tc out air laut	h in air laut	h out air laut	m udara (kg/s)
100	141.43	32.538	416.1	306.2	30	43	119.98	172.18	1.41

mair laut (kg/s)	Q air laut	Q udara	Cp udara (j/kg.K)	C udara	Cp air laut	C air laut	Cr	qmaks (J/s)
4.5	234.9	-154959	1015	1431.15	4005	18022.5	0.079409072	159473.0445

pin udara (kg/m ³)	ρ out udara (kg/m ³)	ρ in air laut(kg/m ³)	ρ out air laut(kg/m ³)	v udara (m/s)	v air laut (m/s)	μ in (kg/m.s)	μ out (kg/m.s)
0.8535	1.194775	1020.175	1018.35	1.26	2.33	0.0000239	0.00001901

Pr udara	Pr air laut	kf(W/m.K)	Di (m)	Do (m)	tf (m)	Dr (m)	Atube (m ²)
0.6935	5.0575	238.965	0.013395	0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832

Pt (m)	Pl (m)	L ₁ (m)	L ₂ (m)	L ₃ (m)	L (m)	Lc (m)	Nt	Nl	N	Nfin
0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176	0.021066176	12	16	192	2204.545455

$A_p \text{ (m}^2\text{)}$	$A_{fin} \text{ (m}^2\text{)}$	$A_c \text{ (m}^2\text{)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$2a''$	b''	$2b''$
2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497	0.009975994	0.009979833	0.019959665

$A_o \text{ (m}^2\text{)}$	$A_{fr} \text{ (m}^2\text{)}$	$D_h \text{ (m)}$	σ	G udara (kg/m ² .s)	Re_D udara	Re_D air laut
0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561	3.031761646	263.6358109	1515.065534

Nud udara	Nud air laut	j udara	h udara (W/m ² .K)	h air (W/m ² .K)	f udara	f air laut
7.54	3.66	0.032307137	126.9058303	167.3179432	0.364138695	0.042242397

m	η_f	Rw	η_o	U	Ntu
65.18064183	0.640444181	0.010579019	0.643934298	30.76212713	6.089251447

ϵ	$\Delta p \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\Delta p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	$\Delta p \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\Delta p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
0.971693997	7534.373065	0.071	4611.012325	0.047019

Lampiran A-9 Hasil Perhitungan *Intercooler 2* pada Bulan Desember 2014

Bukaan	$T_{h \text{ in udara}}$ (°C)	$T_{h \text{ out udara}}$ (°C)	$h \text{ in udara}$ (kJ/kg)	$h \text{ out udara}$ (kJ/kg)	$T_{c \text{ in air laut}}$ (°C)	$T_{c \text{ out air laut}}$ (°C)	$h \text{ in air laut}$ (kJ/kg)
100	160	44	435	317.7	30	43	119.98
80	160	45	435	318.7	30	43	119.98
70	160	46	435	319.7	30	43	119.98
65	160	46	435	319.7	30	43	119.98
60	160	46	435	319.7	30	43	119.98
55	160	46	435	319.7	30	43	119.98
50	160	46	435	319.7	30	43	119.98
45	160	46	435	319.7	30	43	119.98

$h \text{ out air laut}$ (kJ/kg)	Q (m ³ /s)	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q \text{ air laut}$ (kJ/s)	$Q \text{ udara}$ (J/s)	$C_p \text{ udara}$ (j/kg.K)	$C \text{ udara}$ (J/s.K)
172.18	1.44	1.1736	4.5	234.9	-137663.28	1017	1193.5512
172.18	1.43	1.16545	4.5	234.9	-135541.835	1017	1185.26265
172.18	1.41	1.14915	4.5	234.9	-132496.995	1017	1168.68555

$h_{\text{out air laut}}$ (kJ/kg)	Q (m ³ /s)	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	Q_{udara} (J/s)	C_p_{udara} (j/kg.K)	C_{udara} (J/s.K)
172.18	1.39	1.13285	4.5	234.9	-130617.605	1017	1152.10845
172.18	1.37	1.11655	4.5	234.9	-128738.215	1017	1135.53135
172.18	1.32	1.0758	4.5	234.9	-124039.74	1017	1094.0886
172.18	1.24	1.0106	4.5	234.9	-116522.18	1017	1027.7802
172.18	1.16	0.9454	4.5	234.9	-109004.62	1017	961.4718

$C_{p_{\text{air laut}}}$ (J/kg.K)	$C_{\text{air laut}}$ (J/s.K)	C_r	Q_{maks} (J/s)	$\rho_{\text{in udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{in air laut}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out air laut}}$ (kg/m ³)
4005	18022.5	0.066225618	155161.656	0.815	1.11326	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.065765718	154084.1445	0.815	1.1099	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.064845918	151929.1215	0.815	1.11	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.063926117	149774.0985	0.815	1.11	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.063006317	147619.0755	0.815	1.11	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.060706816	142231.518	0.815	1.11	1020.175	1018.35
4005	18022.5	0.057027615	133611.426	0.815	1.11	1020.175	1018.35

$C_{p\text{ air laut}}$ (J/kg.K)	$C_{\text{air laut}}$ (J/s.K)	C_r	q_{maks} (J/s)	$\rho_{\text{in udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{in air laut}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out air laut}}$ (kg/m ³)
4005	18022.5	0.053348414	124991.334	0.815	1.11	1020.175	1018.35

[illegible]

D_o (m)	t_f (m)	D_r (m)	A_{tube} (m ²)	P_t (m)	P_1 (m)	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	L (m)
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176

L_c (m)	N_t	N_l	N	N_{fin}	A_p (m ²)	A_{fin} (m ²)	A_c (m ²)	A (m ²)
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497
0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166	0.241296	283.2909497

$G_{\text{udara}} \text{ (kg/m}^2\cdot\text{s)}$	$Re_{D \text{ udara}}$	$Re_{D \text{ air laut}}$	$N_{ud \text{ udara}}$	$Nu_{d \text{ air laut}}$	$j \text{ udara}$	$h_{\text{udara}} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813	129.3773017
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813	129.3773017
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813	129.3773017
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813	129.3773017
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813	129.3773017
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813	129.3773017
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813	129.3773017
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813	129.3773017

$h_{\text{air laut}} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$	f_{udara}	$f_{\text{air laut}}$	m	η_f	R_w	η_o
167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.8122728	0.63644760	0.01057901	0.63997651
167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.8122728	0.63644760	0.01057901	0.63997651
167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.8122728	0.63644760	0.01057901	0.63997651
167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.8122728	0.63644760	0.01057901	0.63997651

$h_{\text{air laut}}$ (W/m ² .K)	f_{udara}	$f_{\text{air laut}}$	m	η_f	R_w	η_o
167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.8122728	0.63644760	0.01057901	0.63997651
167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.8122728	0.63644760	0.01057901	0.63997651
167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.8122728	0.63644760	0.01057901	0.63997651
167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.8122728	0.63644760	0.01057901	0.63997651

U (W/m ² .K)	Ntu	ε	Δp_{udara} (N/m ²)	Δp_{udara} (kgf/cm ²)	$\Delta p_{\text{air laut}}$ (N/m ²)	$\Delta p_{\text{air laut}}$ (kgf/cm ²)
30.3647463	7.207112528	0.88722487	7739.896089	0.078924975	4611.012325	0.047019
30.3647463	7.257511916	0.879661145	7749.814263	0.079026113	4611.012325	0.047019
30.3647463	7.360455348	0.872097421	7749.518212	0.079026113	4611.012325	0.047019
30.3647463	7.466361118	0.872097421	7749.518212	0.079026113	4611.012325	0.047019
30.3647463	7.575359153	0.872097421	7749.518212	0.079026113	4611.012325	0.047019
30.3647463	7.862304576	0.872097421	7749.518212	0.079026113	4611.012325	0.047019
30.3647463	8.369550032	0.872097421	7749.518212	0.079026113	4611.012325	0.047019
30.3647463	8.946760379	0.872097421	7749.518212	0.079026113	4611.012325	0.047019

Tabel A-10 Hasil Perhitungan *Intercooler 2* pada Bulan Januari 2015

Bukaan	$T_{h \text{ in udara}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{h \text{ out udara}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$h \text{ in udara}$ (kJ/kg)	$h \text{ out udara}$ (kJ/kg)	$T_{c \text{ in air laut}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c \text{ out air laut}}$ ($^{\circ}\text{C}$)
100	158	38	432.9	311.7	30	43
80	158	38	432.9	311.7	30	43
70	160	39	435	312.7	30	43
60	160	39	435	312.7	30	43
55	160	39	435	312.7	30	43
50	160	39	435	312.7	30	43
45	160	39	435	312.7	30	43
40	160	39	435	312.7	30	43

$h \text{ in air laut}$ (kJ/kg)	$h \text{ out air laut}$ (kJ/kg)	$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	Q_{udara} (J/s)	$C_p \text{ udara}$ (j/kg.K)
119.98	172.18	1.44	1.21518	4.5	234.9	-147279.816	1016.5
119.98	172.18	1.43	1.6946215	4.5	234.9	-205388.1258	1016.5
119.98	172.18	1.41	1.14915	4.5	234.9	-140541.045	1017
119.98	172.18	1.36	1.1084	4.5	234.9	-135557.32	1017

$h_{\text{in air laut}}$ (kJ/kg)	$h_{\text{out air laut}}$ (kJ/kg)	Q (m ³ /s)	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	Q_{udara} (J/s)	C_p_{udara} (J/kg.K)
119.98	172.18	1.31	1.06765	4.5	234.9	-130573.595	1017
119.98	172.18	1.25	1.01875	4.5	234.9	-124593.125	1017
119.98	172.18	1.17	0.95355	4.5	234.9	-116619.165	1017
119.98	172.18	1.12	0.9128	4.5	234.9	-111635.44	1017

C_{udara} (J/s.K)	$C_p_{\text{air laut}}$ (J/kg.K)	$C_{\text{air laut}}$ (J/s.K)	C_r	q_{maks} (J/s)	$\rho_{\text{in udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{in air laut}}$ (kg/m ³)
1235.23047	4005	18022.5	0.068538242	158109.5002	0.843875	1.18505	1020.175
1722.582755	4005	18022.5	0.095579567	220490.5926	0.843875	1.18505	1020.175
1168.68555	4005	18022.5	0.064845918	151929.1215	0.815	1.1267	1020.175
1127.2428	4005	18022.5	0.062546417	146541.564	0.815	1.1267	1020.175
1085.80005	4005	18022.5	0.060246916	141154.0065	0.815	1.1267	1020.175
1036.06875	4005	18022.5	0.057487516	134688.9375	0.815	1.1267	1020.175
969.76035	4005	18022.5	0.053808315	126068.8455	0.815	1.1267	1020.175
928.3176	4005	18022.5	0.051508814	120681.288	0.815	1.1267	1020.175

$\rho_{\text{air laut}}^{\text{out}} (\text{kg/m}^3)$	$v_{\text{udara}} (\text{m/s})$	$v_{\text{air laut}} (\text{m/s})$	$\mu_{\text{in}} (\text{kg/m.s})$	$\mu_{\text{out}} (\text{kg/m.s})$	Pr_{udara}	$Pr_{\text{air laut}}$	$k_f (\text{W/m.K})$	$D_i (\text{m})$
1018.35	1.26	2.33	0.000024	0.0000189	0.693	5.0575	238.965	0.013395
1018.35	1.26	2.33	0.000024	0.0000189	0.693	5.0575	238.965	0.013395
1018.35	1.26	2.33	0.0000243	0.0000191	0.69	5.0575	238.965	0.013395
1018.35	1.26	2.33	0.0000243	0.0000191	0.69	5.0575	238.965	0.013395
1018.35	1.26	2.33	0.0000243	0.0000191	0.69	5.0575	238.965	0.013395
1018.35	1.26	2.33	0.0000243	0.0000191	0.69	5.0575	238.965	0.013395
1018.35	1.26	2.33	0.0000243	0.0000191	0.69	5.0575	238.965	0.013395
1018.35	1.26	2.33	0.0000243	0.0000191	0.69	5.0575	238.965	0.013395

$D_o (\text{m})$	$t_f (\text{m})$	$D_r (\text{m})$	$A_{\text{tube}} (\text{m}^2)$	$P_t (\text{m})$	$P_1 (\text{m})$	$L_1 (\text{m})$	$L_2 (\text{m})$	$L_3 (\text{m})$	$L (\text{m})$
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176
0.015875	0.00025	0.016375	0.000197832	0.0381	0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176

[illegible]

2a"	b"	2b"	A _o (m ²)	A _{fr} (m ²)	D _h (m)	σ
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561
0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575	0.002078295	0.354714561

G udara (kg/m ² .s)	Re _D udara	Re _D air laut	N _{ud} udara	Nu _d air laut	j udara	h udara (W/m ² .K)	h air laut (W/m ² .K)
2.997572184	259.5766701	1515.065534	7.54	3.66	0.032820223	127.717229	167.3179432
2.997572184	259.5766701	1515.065534	7.54	3.66	0.032820223	127.717229	167.3179432
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034457557	129.9398117	167.3179432
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034457557	129.9398117	167.3179432
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034457557	129.9398117	167.3179432

G_{udara} (kg/m ² .s)	Re_D udara	Re_D air laut	N_{ud} udara	Nu_d air laut	j udara	h_{udara} (W/m ² .K)	$h_{air laut}$ (W/m ² .K)
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034457557	129.9398117	167.3179432
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034457557	129.9398117	167.3179432
2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034457557	129.9398117	167.3179432

[illegible]

Ntu	ε	$\Delta p_{\text{udara}} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\Delta p_{\text{udara}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	$\Delta p_{\text{air laut}} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$\Delta p_{\text{air laut}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
6.950399197	0.931505165	7555.936006	0.077049104	4611.012325	0.047019
4.983995598	0.931505165	7555.936006	0.077049104	4611.012325	0.047019
7.365187855	0.925043491	7700.814946	0.078526459	4611.012325	0.047019
7.63596682	0.925043491	7700.814946	0.078526459	4611.012325	0.047019
7.927415935	0.925043491	7700.814946	0.078526459	4611.012325	0.047019
8.3079319	0.925043491	7700.814946	0.078526459	4611.012325	0.047019
8.87599562	0.925043491	7700.814946	0.078526459	4611.012325	0.047019
9.272245424	0.925043491	7700.814946	0.078526459	4611.012325	0.047019

Tabel A-11 Hasil Perhitungan *Intercooler 2* pada Bulan April 2015

Bukaan	$T_{h \text{ in udara}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{h \text{ out udara}} (^{\circ}\text{C})$	$h_{\text{in udara}} (\text{kJ/kg})$	$h_{\text{out udara}} (\text{kJ/kg})$	$T_{c \text{ in air laut}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{c \text{ out air laut}} (^{\circ}\text{C})$
100	160	42	435	315.7	30	43
80	160	43	435	316.7	30	43
70	160	43	435	316.7	30	43
65	160	43	435	316.7	30	43
55	160	43	435	316.7	30	43
45	160	42	435	315.7	30	43
40	160	42	435	315.7	30	43

$h_{\text{in air laut}} (\text{kJ/kg})$	$h_{\text{out air laut}} (\text{kJ/kg})$	$Q (\text{m}^3/\text{s})$	$\dot{m}_{\text{udara}} (\text{kg/s})$	$\dot{m}_{\text{air laut}} (\text{kg/s})$	$Q_{\text{air laut}} (\text{kJ/s})$	$Q_{\text{udara}} (\text{J/s})$	$C_{p \text{ udara}} (\text{J/kg.K})$
119.98	172.18	1.57	1.27955	4.5	234.9	-152650.315	1017
119.98	172.18	1.56	1.2714	4.5	234.9	-150406.62	1017
119.98	172.18	1.51	1.23065	4.5	234.9	-145585.895	1017
119.98	172.18	1.48	1.2062	4.5	234.9	-142693.46	1017
119.98	172.18	1.41	1.14915	4.5	234.9	-135944.445	1017

$h_{\text{in air laut}}$ (kJ/kg)	$h_{\text{out air laut}}$ (kJ/kg)	Q (m ³ /s)	\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	Q_{udara} (J/s)	C_p_{udara} (J/kg.K)
119.98	172.18	1.29	1.05135	4.5	234.9	-125426.055	1017
119.98	172.18	1.26	1.0269	4.5	234.9	-122509.17	1017

C_{udara} (J/s.K)	$C_p_{\text{air laut}}$ (J/kg.K)	$C_{\text{air laut}}$ (J/s.K)	C_r	q_{maks} (J/s)	$\rho_{\text{in udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out udara}}$ (kg/m ³)
1301.30235	4005	18022.5	0.07220432	169169.3055	0.815	1.1099
1293.0138	4005	18022.5	0.071744419	168091.794	0.815	1.1099
1251.57105	4005	18022.5	0.069444919	162704.2365	0.815	1.1099
1226.7054	4005	18022.5	0.068065218	159471.702	0.815	1.1099
1168.68555	4005	18022.5	0.064845918	151929.1215	0.815	1.1099
1069.22295	4005	18022.5	0.059327116	138998.9835	0.815	1.1099
1044.3573	4005	18022.5	0.057947416	135766.449	0.815	1.1099

$\rho_{\text{in air laut}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out air laut}}$ (kg/m ³)	v_{udara} (m/s)	$v_{\text{air laut}}$ (m/s)	μ_{in} (kg/m.s)	μ_{out} (kg/m.s)	Pr_{udara}	$Pr_{\text{air laut}}$
1020.175	1018.35	1.26	2.33	0.0000243	0.000019325	0.693	5.0575

[illegible]

L_2 (m)	L_3 (m)	L (m)	L_c (m)	N_t	N_l	N	N_{fin}	A_p (m ²)	A_{fin} (m ²)
0.61	0.457	0.020941176	0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166
0.61	0.457	0.020941176	0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166
0.61	0.457	0.020941176	0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166
0.61	0.457	0.020941176	0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166
0.61	0.457	0.020941176	0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166
0.61	0.457	0.020941176	0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166
0.61	0.457	0.020941176	0.021066176	12	16	192	2204.545455	2.74983305	280.5411166

A_c (m ²)	A (m ²)	$2a''$	b''	$2b''$	A_o (m ²)	A_{fr} (m ²)
0.241296	283.2909497	0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575
0.241296	283.2909497	0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575
0.241296	283.2909497	0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575
0.241296	283.2909497	0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575
0.241296	283.2909497	0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575
0.241296	283.2909497	0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575

$A_c \text{ (m}^2\text{)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$2a''$	b''	$2b''$	$A_o \text{ (m}^2\text{)}$	$A_{fr} \text{ (m}^2\text{)}$
0.241296	283.2909497	0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.17811575

$D_h \text{ (m)}$	σ	$G_{\text{udara}} \text{ (kg/m}^2 \cdot \text{s)}$	$Re_{D \text{ udara}}$	$Re_{D \text{ air laut}}$	$N_{ud \text{ udara}}$	$Nu_{d \text{ air laut}}$	$j \text{ udara}$
0.002078295	0.354714561	2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813
0.002078295	0.354714561	2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813
0.002078295	0.354714561	2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813
0.002078295	0.354714561	2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813
0.002078295	0.354714561	2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813
0.002078295	0.354714561	2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813
0.002078295	0.354714561	2.895003797	247.5996992	1515.065534	7.54	3.66	0.034407813

$h_{\text{udara}} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$	$h_{\text{air laut}} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$	f_{udara}	$f_{\text{air laut}}$	m	η_f	R_w
129.3773017	167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.81227287	0.636447603	0.010579019
129.3773017	167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.81227287	0.636447603	0.010579019
129.3773017	167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.81227287	0.636447603	0.010579019

h_{udara} (W/m ² .K)	$h_{\text{air laut}}$ (W/m ² .K)	f_{udara}	$f_{\text{air laut}}$	m	η_f	R_w
129.3773017	167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.81227287	0.636447603	0.010579019
129.3773017	167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.81227287	0.636447603	0.010579019
129.3773017	167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.81227287	0.636447603	0.010579019
129.3773017	167.3179432	0.387722603	0.042242397	65.81227287	0.636447603	0.010579019

η_o	U (W/m ² .K)	Ntu	ϵ	Δp_{udara} (N/m ²)	Δp_{udara} (kgf/cm ²)	$\Delta p_{\text{air laut}}$ (N/m ²)	$\Delta p_{\text{air laut}}$ (kgf/cm ²)
0.63997651	30.364746	6.61034524	0.9023523	7749.81426	0.0790261	4611.0123	0.047019
0.63997651	30.364746	6.65271925	0.8947885	7749.81426	0.0790261	4611.0123	0.047019
0.63997651	30.364746	6.87300797	0.8947885	7749.81426	0.0790261	4611.0123	0.047019
0.63997651	30.364746	7.01232570	0.8947885	7749.81426	0.0790261	4611.0123	0.047019
0.63997651	30.364746	7.36045534	0.8947885	7749.81426	0.0790261	4611.0123	0.047019
0.63997651	30.364746	8.04514886	0.9023523	7749.81426	0.0790261	4611.0123	0.047019
0.63997651	30.364746	8.23670003	0.9023523	7749.81426	0.0790261	4611.0123	0.047019

Tabel A-12 Hasil Perhitungan *Intercooler 2* pada *Comissioning*

Bukaan	$T_{h \text{ in udara}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{h \text{ out udara}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$h \text{ in udara}$ (kJ/kg)	$h \text{ out udara}$ (kJ/kg)	$T_{c \text{ in air laut}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c \text{ out air laut}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$h \text{ in air laut}$ (kJ/kg)	$h \text{ out air laut}$ (kJ/kg)	$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$
100	150.28	33.03	425.1	306.7	30	43	119.98	172.18	1.41

\dot{m}_{udara} (kg/s)	$\dot{m}_{\text{air laut}}$ (kg/s)	$Q_{\text{air laut}}$ (kJ/s)	Q_{udara} (J/s)	$C_{p \text{ udara}}$ (j/kg.K)	C_{udara} (J/s.K)	$C_{p \text{ air laut}}$ (J/kg.K)	$C_{\text{air laut}}$ (J/s.K)	Cr
4.5	234.9	-166944	1017	1433.97	4005	18022.5	0.079565543	172477.9116

q_{maks} (J/s)	$\rho_{\text{in udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out udara}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{in air laut}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{out air laut}}$ (kg/m ³)	v_{udara} (m/s)	$v_{\text{air laut}}$ (m/s)	μ_{in} (kg/m.s)
0.83425	1.11326	1020.175	1018.35	1.26	2.33	0.0000243	0.00001928

μ_{out} (kg/m.s)	Pr_{udara}	$Pr_{\text{air laut}}$	k_f (W/m.K)	D_i (m)	D_o (m)	t_f (m)	D_r (m)	A_{tube} (m ²)
0.693	5.058	238.97	0.013395	0.015875	0.00025	0.01638	0.000198	0.0381

P_t (m)	P_1 (m)	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	L (m)	L_c (m)	N_t	N_I	N	N_{fin}
0.033	0.528	0.61	0.457	0.020941176	0.02106617	12	16	192	2204.545455	2.74983305

A_p (m ²)	A_{fin} (m ²)	A_c (m ²)	A (m ²)	$2a''$	b''	$2b''$	A_o (m ²)
280.541117	0.241296	283.2909	0.009975994	0.009979833	0.019959665	0.06318025	0.1781157

A_{fi} (m ²)	D_h (m)	σ	G_{udara} (kg/m ² .s)	$Re_{D udara}$	$Re_{D air laut}$	$N_{ud udara}$	$Nu_{d air laut}$
0.0020783	0.354714561	2.963382722	253.447913	1515.065534	7.54	3.66	0.03361

j_{udara}	h_{udara} (W/m ² .K)	$h_{air laut}$ (W/m ² .K)	f_{udara}	$f_{air laut}$	m	η_f
129.3773017	167.3179432	0.378776053	0.042242397	65.81227287	0.636447603	0.010579019

R_w	η_o	U (W/m ² .K)	Ntu	ϵ	Δp_{udara} (N/m ²)	Δp_{udara} (kgf/cm ²)	$\Delta p_{air laut}$ (N/m ²)
0.63997651	30.856665	6.0959532	0.96791524	7817.24550	0.075	4611.012325	0.047019

Tabel B-1 Nilai Properties Bahan Logam

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids*

Composition	Properties at Various Temperatures (K)									
	Properties at 300 K					Properties at Various Temperatures (K)				
	Melting Point (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)
Aluminum										
Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218
						482	798	949	1033	1146
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	186	186
Alloy 195, Cast (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2	473	787	925	1042	1042
Beryllium	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106
						203	1114	2191	2604	3018
Bismuth	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04	2823	3519
						112	120	127		
Boron	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60
						128	600	1463	1892	2160
Cadmium	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7	2338	2338
						198	222	242		
Chromium	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3
						192	384	484	542	581
Cobalt	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2
						236	379	450	503	550
Copper										
Pure	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366
						252	356	397	417	433
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	52	785	52	59	545
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17	75	41	65	74	74
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8550	380	110	33.9	75	95	137	149	149
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	360	395	425	425
						237	362			
Germanium	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8
						190	290	337	348	357
										17.4
										17.4
										395

Tabel B-2 Properties Udara

Appendix B

Physical Properties of Air, Water, Liquid Metals, and Refrigerants

TABLE B.1

Properties of Dry Air at Atmospheric Pressure

Temperature (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	k (W/m · K)	$\beta \times 10^5$ (1/K)	$\mu \times 10^5$ (kg/m · s)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /s)	Pr
-150	2.793	1.026	0.0120	8.21	0.870	3.11	4.19	0.74
-100	1.980	1.009	0.0165	5.82	1.18	5.96	8.28	0.72
-50	1.534	1.005	0.0206	4.51	1.47	9.55	13.4	0.715
0	1.2930	1.005	0.0242	3.67	1.72	13.30	18.7	0.711
20	1.2045	1.005	0.0257	3.43	1.82	15.11	21.4	0.713
40	1.1267	1.009	0.0271	3.20	1.91	16.97	23.9	0.711
60	1.0595	1.009	0.0285	3.00	2.00	18.90	26.7	0.709
80	0.9908	1.009	0.0299	2.83	2.10	20.94	29.6	0.708
100	0.9458	1.013	0.0314	2.68	2.18	23.06	32.8	0.704
120	0.8980	1.013	0.0328	2.55	2.27	25.23	36.1	0.70
140	0.8535	1.013	0.0343	2.43	2.35	27.55	39.7	0.694
160	0.8150	1.017	0.0358	2.32	2.43	29.85	43.0	0.693
180	0.7785	1.022	0.0372	2.21	2.51	32.29	46.7	0.69
200	0.7475	1.026	0.0386	2.11	2.58	34.63	50.5	0.685
250	0.6745	1.034	0.0421	1.91	2.78	41.17	60.3	0.68
300	0.6157	1.047	0.0390	1.75	2.95	47.85	70.3	0.68
350	0.5662	1.055	0.0485	1.61	3.12	55.05	81.1	0.68
400	0.5242	1.068	0.0516	1.49	3.28	62.53	91.9	0.68
450	0.4875	1.080	0.0543	—	3.44	70.54	103.1	0.685
500	0.4564	1.092	0.0570	—	3.66	79.48	114.2	0.69
600	0.4041	1.114	0.0621	—	3.58	95.57	138.2	0.69
700	0.3625	1.135	0.0667	—	4.12	113.7	162.2	0.70
800	0.3287	1.156	0.0706	—	4.37	132.8	185.8	0.715
900	0.321	1.172	0.0741	—	4.59	152.5	210	0.725
1000	0.277	1.185	0.0770	—	4.80	175	235	0.735

From Kakaç, S. and Yener, Y. (1995) *Convective Heat Transfer*, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
With permission.

Tabel B-3 Nilai Enthalphy Air Laut

Specific enthalpy, kJ/kg

	Salinity, g/kg												
Temp, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
10	42.1	41.4	40.6	39.8	39.1	38.3	37.6	36.8	36.1	35.3	34.6	33.8	33.1
20	84.0	82.8	81.5	80.3	79.0	77.8	76.6	75.3	74.1	72.9	71.6	70.4	69.1
30	125.8	124.1	122.4	120.7	118.9	117.2	115.5	113.8	112.1	110.3	108.6	106.9	105.2
40	167.6	165.4	163.2	161.0	158.8	156.6	154.4	152.2	150.0	147.8	145.6	143.4	141.2
50	209.4	206.7	204.0	201.4	198.7	196.0	193.3	190.6	187.9	185.2	182.5	179.8	177.2
60	251.2	248.1	244.9	241.7	238.5	235.4	232.2	229.0	225.9	222.7	219.5	216.3	213.2
70	293.1	289.4	285.8	282.1	278.5	274.8	271.1	267.5	263.8	260.2	256.5	252.9	249.2
80	335.0	330.8	326.7	322.6	318.4	314.3	310.1	306.0	301.9	297.7	293.6	289.5	285.3
90	377.0	372.4	367.7	363.1	358.5	353.9	349.2	344.6	340.0	335.4	330.8	326.1	321.5
100	419.1	414.0	408.9	403.8	398.7	393.6	388.5	383.4	378.3	373.1	368.0	362.9	357.8
110	461.4	455.8	450.2	444.6	439.0	433.4	427.8	422.2	416.6	411.1	405.5	399.9	394.3
120	503.8	497.7	491.6	485.6	479.5	473.4	467.3	461.3	455.2	449.1	443.1	437.0	430.9

Tabel B-4 Massa Jenis Air Laut

Density, kg/m³

	Salinity, g/kg												
Temp, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0	999.8	1007.9	1016.0	1024.0	1032.0	1040.0	1048.0	1056.1	1064.1	1072.1	1080.1	1088.1	1096.2
10	999.7	1007.4	1015.2	1023.0	1030.9	1038.7	1046.6	1054.4	1062.2	1070.1	1077.9	1085.7	1093.6
20	998.2	1005.7	1013.4	1021.1	1028.8	1036.5	1044.1	1051.8	1059.5	1067.2	1074.9	1082.6	1090.3
30	995.7	1003.1	1010.7	1018.2	1025.8	1033.4	1040.9	1048.5	1056.1	1063.6	1071.2	1078.7	1086.3
40	992.2	999.7	1007.1	1014.6	1022.1	1029.5	1037.0	1044.5	1052.0	1059.4	1066.9	1074.4	1081.8
50	988.0	995.5	1002.9	1010.3	1017.7	1025.1	1032.5	1039.9	1047.3	1054.7	1062.1	1069.5	1076.9
60	983.2	990.6	998.0	1005.3	1012.7	1020.0	1027.4	1034.7	1042.1	1049.5	1056.8	1064.2	1071.5
70	977.8	985.1	992.5	999.8	1007.1	1014.5	1021.8	1029.1	1036.5	1043.8	1051.2	1058.5	1065.8
80	971.8	979.1	986.5	993.8	1001.1	1008.5	1015.8	1023.1	1030.5	1037.8	1045.1	1052.5	1059.8
90	965.3	972.6	980.0	987.3	994.7	1002.0	1009.4	1016.8	1024.1	1031.5	1038.8	1046.2	1053.5
100	958.4	965.7	973.1	980.5	987.9	995.2	1002.6	1010.0	1017.4	1024.8	1032.2	1039.6	1047.0
110	950.9	958.3	965.8	973.2	980.6	988.1	995.5	1003.0	1010.4	1017.8	1025.3	1032.7	1040.2
120	943.1	950.6	958.1	965.6	973.1	980.6	988.1	995.6	1003.1	1010.6	1018.1	1025.6	1033.1

Tabel B-5 Nilai Cp Air Laut

Specific heat at constant pressure, J/kg K

	Salinity, g/kg												
Temp, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0	4206.8	4142.1	4079.9	4020.1	3962.7	3907.8	3855.3	3805.2	3757.6	3712.4	3669.7	3629.3	3591.5
10	4196.7	4136.7	4078.8	4022.8	3968.9	3916.9	3867.1	3819.2	3773.3	3729.5	3687.7	3647.9	3610.1
20	4189.1	4132.8	4078.2	4025.3	3974.1	3924.5	3876.6	3830.4	3785.9	3743.0	3701.8	3662.3	3624.5
30	4183.9	4130.5	4078.5	4027.8	3978.6	3930.8	3884.4	3839.4	3795.8	3753.6	3712.7	3673.3	3635.3
40	4181.0	4129.7	4079.6	4030.7	3982.9	3936.4	3891.0	3846.7	3803.7	3761.8	3721.1	3681.6	3643.2
50	4180.6	4130.8	4081.9	4034.1	3987.3	3941.5	3896.6	3852.9	3810.1	3768.3	3727.5	3687.8	3649.0
60	4182.7	4133.7	4085.5	4038.3	3992.0	3946.5	3902.0	3858.3	3815.5	3773.7	3732.7	3692.6	3653.4
70	4187.1	4138.5	4090.6	4043.6	3997.3	3951.9	3907.4	3863.8	3820.6	3778.5	3737.2	3696.7	3657.0
80	4194.0	4145.3	4097.3	4050.1	4003.7	3958.1	3913.3	3869.2	3825.9	3783.5	3741.7	3700.8	3660.7
90	4203.4	4154.2	4105.9	4058.3	4011.5	3965.4	3920.2	3875.7	3832.0	3789.1	3746.9	3705.6	3665.0
100	4215.2	4165.4	4116.4	4068.2	4020.9	3974.3	3928.5	3883.6	3839.4	3796.0	3753.5	3711.7	3670.8
110	4229.4	4178.8	4129.1	4080.2	4032.2	3985.1	3938.7	3893.3	3848.6	3804.9	3761.9	3719.9	3678.6
120	4246.1	4194.7	4144.2	4094.6	4045.9	3998.2	3951.3	3905.4	3860.3	3816.2	3773.0	3730.7	3689.4

Tabel B-6 Nilai *Prandtl* Air Laut

Prandtl number

Temp, °C	Salinity, g/kg												
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0	13.18	13.21	13.25	13.31	13.40	13.50	13.63	13.78	13.94	14.13	14.34	14.56	14.81
10	9.32	9.36	9.41	9.48	9.56	9.65	9.76	9.87	10.00	10.14	10.30	10.48	10.64
20	6.95	7.00	7.06	7.12	7.19	7.27	7.36	7.46	7.56	7.67	7.79	7.92	8.05
30	5.40	5.45	5.51	5.57	5.63	5.70	5.78	5.86	5.94	6.03	6.13	6.23	6.33
40	4.34	4.38	4.43	4.49	4.54	4.60	4.67	4.74	4.81	4.88	4.96	5.04	5.13
50	3.57	3.61	3.66	3.71	3.76	3.81	3.87	3.93	3.99	4.05	4.12	4.18	4.25
60	3.00	3.04	3.08	3.12	3.17	3.22	3.27	3.32	3.37	3.42	3.48	3.54	3.60
70	2.57	2.60	2.64	2.68	2.72	2.76	2.81	2.85	2.90	2.94	2.99	3.04	3.09
80	2.23	2.27	2.30	2.33	2.37	2.41	2.45	2.49	2.53	2.57	2.61	2.66	2.70
90	1.97	2.00	2.03	2.06	2.09	2.13	2.16	2.20	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
100	1.76	1.78	1.81	1.84	1.87	1.90	1.93	1.96	1.99	2.03	2.06	2.10	2.13
110	1.59	1.61	1.63	1.66	1.69	1.71	1.74	1.77	1.80	1.83	1.86	1.89	1.93
120	1.45	1.47	1.49	1.51	1.54	1.56	1.59	1.61	1.64	1.67	1.70	1.73	1.76

DAFTAR PUSTAKA

- 
- [1] Eddy Liemena, Aloysius. 2010. *“Analisis Energi pada Kompresor Tiga Tingkat yang Mengalami Penurunan Tekanan”*. Nitro Pdf Profesional.
 - [2] Incropera, Frank P. and Dewitt, David P. (1981). *“Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition”*. John Wiley & Sons. Inc.
 - [3] Kakac, Sadic and Hongtan Liu. 2004. *“Heat Exchanger : Desain, Selection and Thermal Design”*. CRC Press
 - [4] Kays and London. 1955. *“Compact Heat Exchangers Second Edition”*. McGraw-Hill Book Company. USA
 - [5] Lopata, Stanisław and Oclo, Pawel. 2015. *Numerical study of the effect of fouling on local heat transfer conditions in a high-temperature fin-and-tube heat exchanger*. Elsevier
 - [6] Moran, M.J and Howard N, Shapiro. 2000. *“Fundamental Engineering Thermodynamics”*. John Wiley & Sons Inc. Chicester.
 - [7] Shah, Ramesh K. 2003. *“Fundamentals Of Heat Exchanger Design”*. John Wiley & Sons Inc. Chicester.
 - [8] T. Kuppam. *“Heat Exchanger Design Handbook”*. L.L Faulkner



BIODATA PENULIS



Nia Rosalina lahir di Malang pada tanggal 14 April 1994, merupakan anak ketiga dari pasangan Suprpto dan Suhartatik. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Lawang V (2000-2006), SMPN 1 Singosari (2006-2009), SMA Negeri 01 Lawang (2009-2012). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Mesin dan lulus pada tahun 2016.

Selama kuliah di jurusan teknik mesin penulis aktif dalam berorganisasi di dalam Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin sebagai staff divisi umum (2013 dan 2015) dan Kabiro Event Internal divisi umum (2014). Selain itu, penulis juga berkegiatan dalam bidang akademik diantaranya menjadi asisten dan grader Laboratorium Perpindahan Panas Dan Massa (2015-2016). Di jurusan Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Konversi energi sebagai bahan Tugas Akhir.

Jika ada informasi, pertanyaan, maupun saran yang ingin disampaikan kepada penulis, dapat menghubungi penulis melalui email niarosalina22@gmail.com